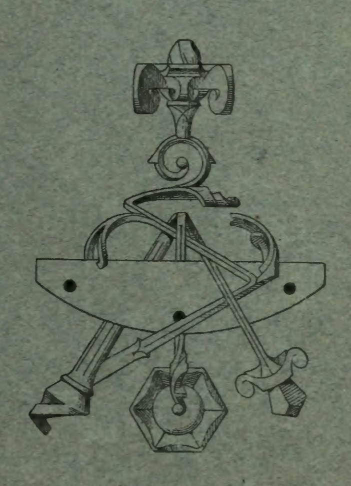


AUGUSTE CHOISY

L'ART DE BATIR

CHEZ

LES ÉGYPTIENS



LIBRAIRIE G[illegible]GER[illegible]ILS
5, Rue des [illegible], 5

1904

L'ART DE BATIR

CHEZ

LES ÉGYPTIENS

TEXTE. IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

FIGURES TYPOGRAPHIQUES, GRAVÉES EN TAILLE-DOUCE PAR
J. SULPIS
TRANSFORMÉES EN CLICHÉS PAR DUCOURTIOUX ET HUILLARD

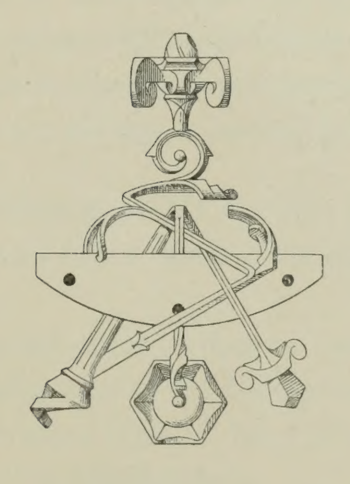
PLANCHES HÉLIOGRAPHIQUES, EXÉCUTÉES PAR MASSARD FRÈRES
IMPRIMÉES PAR C. WITTMANN

AUGUSTE CHOISY

L'ART DE BATIR

CHEZ

LES ÉGYPTIENS



PARIS
LIBRAIRIE G. BARANGER FILS
5, Rue des Saints-Pères, 5

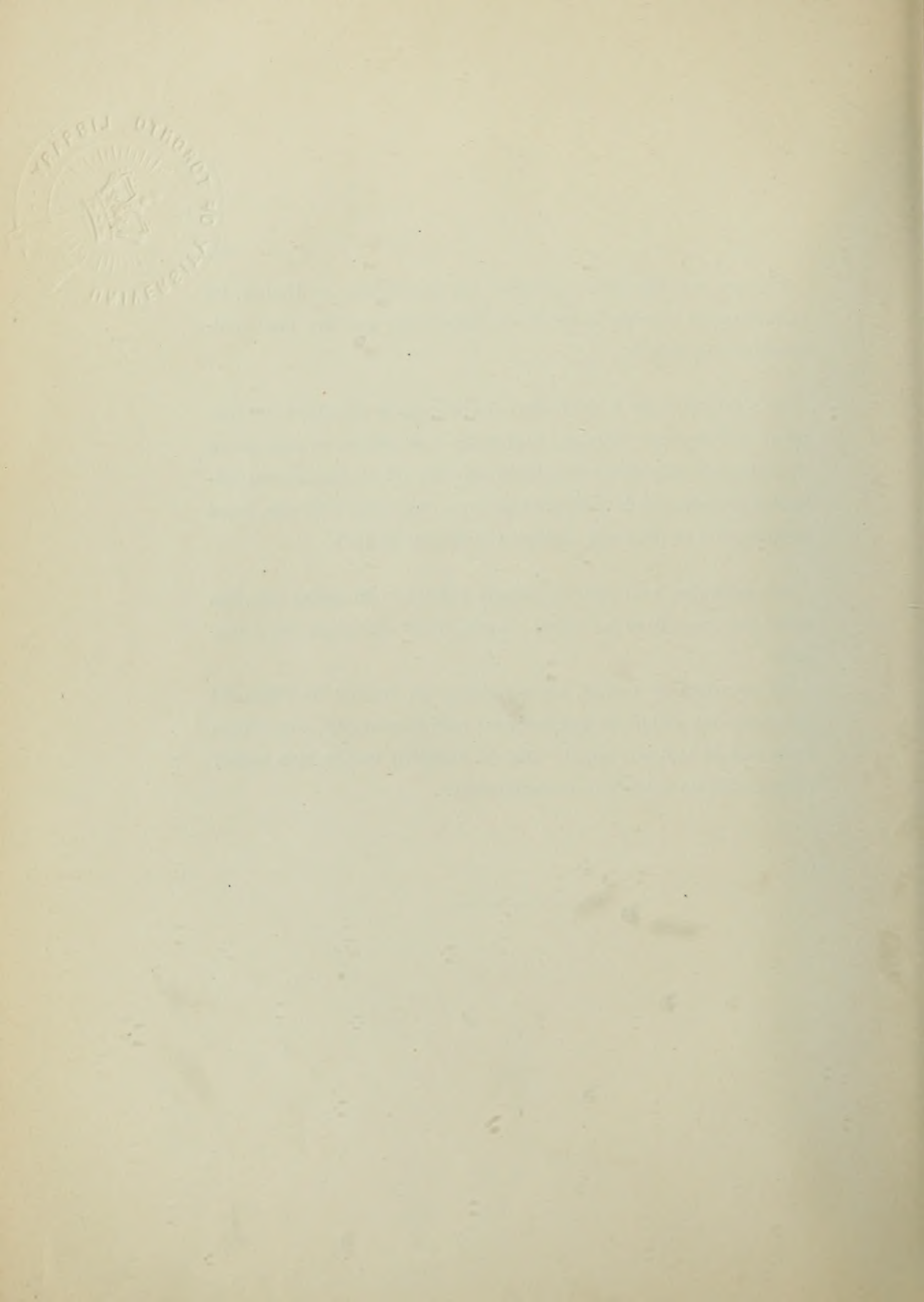
1904

Lorsque les Égyptiens élevèrent les monuments de Thèbes, ils connaissaient à peine le fer et ne disposaient que des plus rudimentaires machines.

Ce n'est point par le seul effort des bras qu'ils ont opéré des manœuvres telles que celles des obélisques : Ils étaient en possession de méthodes, sans doute fort différentes des nôtres, mais assez puissantes pour aplanir des obstacles qui nous rendraient hésitants, assez souples pour se plier aux multiples exigences de l'art.

Ces méthodes sont pour la plupart oubliées; du moins ont-elles laissé leur trace dans les ruines : nous avons essayé de les y ressaisir.

En abordant ce travail, nous suivions un conseil de l'éminent Directeur des antiquités égyptiennes; pour l'accomplir, nous avons eu besoin de tout son appui : Que M. Maspero veuille bien agréer l'expression de notre vive reconnaissance.



L'ART DE BATIR

CHEZ

LES ÉGYPTIENS

OUVRAGES DE CHARPENTE.

CONSTRUCTIONS MIXTES EN BOIS ET BRIQUE.

L'Égypte est dépourvue de végétation forestière : C'est dire que les combinaisons de charpente jouent dans son architecture un rôle fort accessoire.

LES BOIS.

Parmi les bois indigènes, les moins impropres à la charpente sont l'acacia et le tamaris.

Le sycomore n'offre ni dureté ni résistance à la flexion.

Quant au palmier, il est filamenteux, s'assemble mal et s'écrase sous la charge.

L'OUTILLAGE.

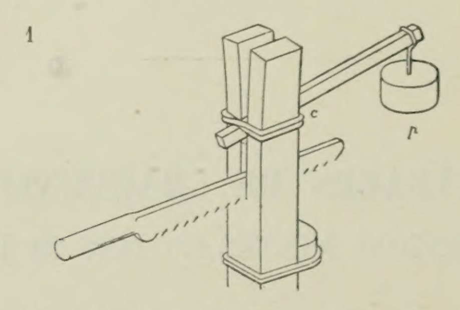
Les outils diffèrent peu de ceux que nous rencontrons chez les peuples préhistoriques :

Ils nous sont connus par des représentations peintes, et par ces modèles que les Égyptiens déposaient sous les premières assises des édifices.

Les outils sont à lames de bronze : C'est seulement vers le VIe siècle avant notre ère que l'usage du fer se généralise.

Pour équarrir les arbres, on se sert d'une hache engagée à mortaise dans le manche, et maintenue par une ligature.

Pour le sciage, le tronc à débiter se présente verticalement : tantôt fiché dans le sol, tantôt attaché à un pieu.



Un jeu de contrepoids (fig. 1) tient ouverte la fente, atténue le frottement et réduit les pertes de force vive en arrêtant les oscillations.

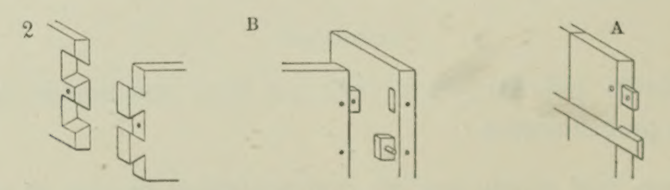
La plupart des travaux de menuiserie s'exécutent à l'herminette ou au ciseau; la pièce est installée sur des pieux fourchus qui tiennent lieu d'établi (peinture du tombeau de Ti).

Les trous de chevilles se creusent à l'aide d'un foret manœuvré par un archet.

Le lissage des surfaces se fait au grès ou à la pierre ponce.

ASSEMBLAGES.

Nos assemblages à queue d'aronde, à tenons et mortaises, à grain



d'orge, à prisonniers chevillés, existent dès les plus anciennes époques.

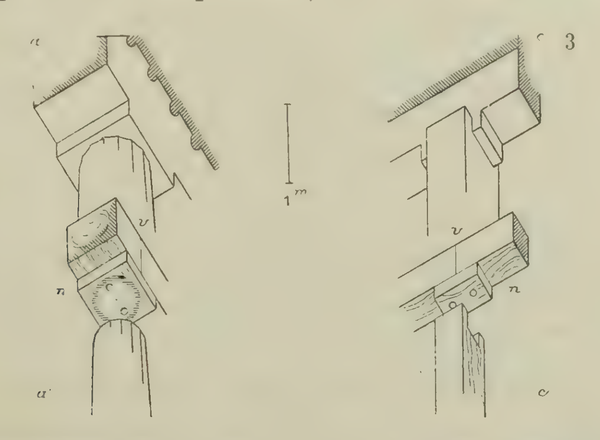
Les exemples fig. 2 sont empruntés aux sarcophages. (A, assemblage des planches d'un panneau; B, assemblage d'angle de deux panneaux.)

PORTIQUES, TERRASSES, PLANCHERS.

L'aspect général des constructions de bois est indiqué par des vues pittoresques où l'on reconnaît tout au moins la disposition des portiques extérieurs.

Si l'on met à part les détails d'ornement, la charpente de ces portiques se réduit à un quillage soutenant, par l'intermédiaire de sablières, les solives d'une terrasse.

Les tombes de Beni Hassan précisent cet aperçu (*a*, *c* représentation sculptée; *a'*, *c'* interprétation) :



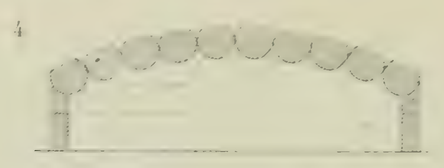
Les poteaux paraissent être des troncs d'arbres plantés en terre; et les poutres qui les surmontent (fig. 3) sont reliées bout à bout à l'aide de fourrures chevillées *n*.

Au Speos Artemidos (*c*), un poteau équarri retient par enfourchement les extrémités des poutres et la fourrure qui les relie.

Nous trouvons dans les hypogées la copie des plafonds :

Ils se composent de troncs de palmier jointifs, sur lesquels on répand une couche de terre.

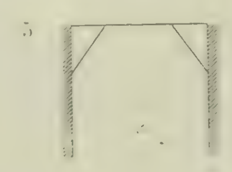
Pour rendre ces plafonds rigides, on leur donne habituellement (fig. 4) un profil en arc de cercle :


4

Les rondins se déchargent les uns sur les autres à la façon des voussoirs d'un berceau : leur faible résistance à la flexion est moins à craindre.

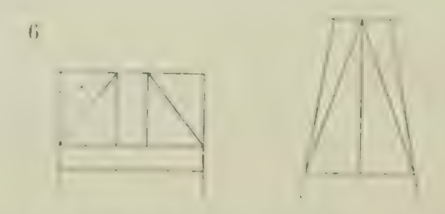
Sous la voûte du puits de la grande pyramide de Sakara, règne un plancher dont la membrure, observée par Perring, présente la disposition fig. 5 :

Des solives soulagées par des contrefiches.


5

Faut-il voir dans ce plancher la plate-forme d'un cintre? Est-ce un ouvrage de consolidation établi après coup pour prévenir la ruine de la voûte? Quoi qu'il en soit, il offre le plus ancien exemple connu d'une ferme où interviennent des pièces obliques.

Cet emploi des écharpes est fréquent dans les ouvrages de menuiserie (fig. 6).


6

On peut donc dire que les Égyptiens ont eu l'idée de constructions triangulées.

Et, pour retrouver ce genre de constructions, il faut descendre jusqu'à l'époque romaine.

Les renseignements que nous possédons sur la charpente des Grecs nous la font concevoir comme un simple empilage : c'est exclusivement en Égypte qu'on entrevoit le principe des contrefiches, destiné plus tard à devenir si fécond.

CHARPENTES PROVISOIRES.

Nous décrirons à propos de l'installation des chantiers les charpentes d'échafaudages :

Le mérite des constructeurs fut d'éviter ces ouvrages auxiliaires, que la rareté du bois eût rendus doublement onéreux.

OUVRAGES DE ROSEAUX.

A la charpenterie se rattachent quelques pratiques vulgaires dont les décorateurs se sont inspirés et dont la tradition s'est perpétuée jusqu'à nos jours :

L'usage, en guise de poteaux, de faisceaux de cannes, d'où dérive un des types les plus élégants de la colonne égyptienne ;

L'emploi, en guise de parois, de haies en palmes jointives, recouvertes d'enduit.

L'extrémité flexible des rameaux est maintenue par un cours de cannes formant moise :

C'est la corniche à gorge.

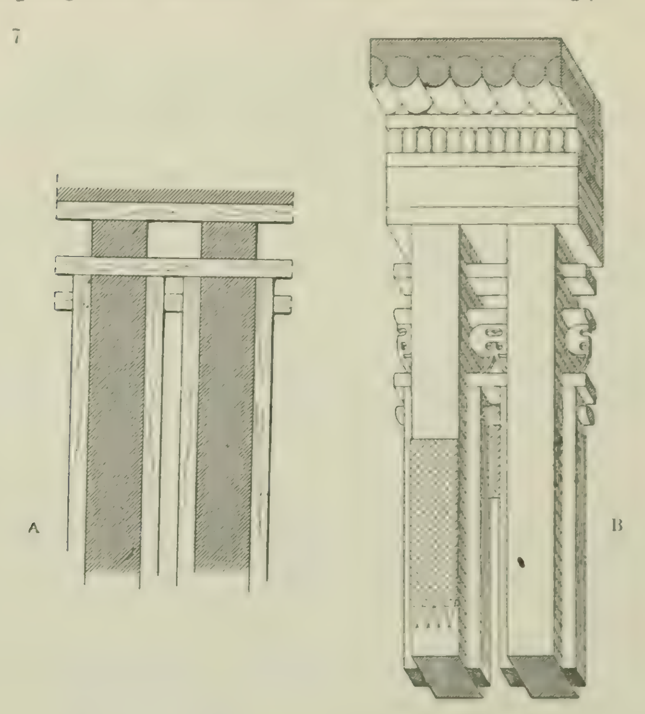
CONSTRUCTIONS MIXTES EN BOIS ET BRIQUE.

Les Égyptiens donnèrent souvent aux sarcophages de granit l'aspect de kiosques ajourés.

Les parois à jour de ces pavillons répondaient aux mêmes besoins que les panneaux de treillis des habitations modernes : Elles sont reproduites avec détail sur les parements des chambres sépulcrales ; plus librement, dans les murailles ornées de rudentures.

Nous indiquons (fig. 7) la constitution probable de ces claires-voies (A sarcophage de Khnoufou; B tombe de Phtah-Hotep).

7



On distingue des pieds-droits épais, traversés à diverses hauteurs par des madriers horizontaux et moisés entre des madriers debout.

Il est clair que toutes les menues pièces sont de bois; les pieds-droits eux-mêmes seraient-ils taillés dans des troncs d'arbres?

La cherté du bois rend peu admissibles des poteaux si multipliés et de si fort équarrissage : Vraisemblablement les pieds-droits sont des piles maçonnées.

Le décor peint (B) confirme cette conjecture.

Il comprend :

1° Des bandes horizontales de couleur, qui éveillent l'idée d'une construction par assises;

2° Une natte recouvrant le pied du montant : tenture superflue si le montant était de bois; presque indispensable s'il est fait d'une matière telle que l'argile crue.

Nous sommes donc en présence non d'un pan de bois, mais d'une maçonnerie entretoisée par des pièces de charpente : le corps de la construction est de brique.

CONSTRUCTIONS DE BRIQUE.

L'argile durcie au feu ne prit place parmi les matériaux de l'architecture qu'à une date très tardive : Jusqu'à l'époque de Vitruve les Romains eux-mêmes ont employé presque exclusivement des briques crues.

Les Égyptiens, qui manquaient de combustible, n'ont soumis la terre à la cuisson qu'en vue d'applications tout à fait exceptionnelles : à Médinet Abou, un aqueduc; au temple de Mout, à Karnak, le soubassement d'un mur qui confinait à un lac. D'une manière générale, les briques étaient simplement séchées au soleil.

Dans nos contrées, les carreaux de terre sont vite attaqués par les gelées et les pluies : En Égypte, cette cause de destruction n'existe point. Toutes les maisons antiques sont à parois d'argile sèche. On bâtissait en briques des murs de défense, des pyramides, et même ces demeures royales qui auraient laissé des traces si elles avaient été de pierre.

LES BRIQUES ÉGYPTIENNES, LEUR MODE GÉNÉRAL D'EMPLOI.

NATURE ET DIMENSIONS DES BRIQUES.

La matière est le limon même de la vallée du Nil, auquel on incorpore ordinairement des pailles hachées, ou mieux, ces menus déchets que laisse le battage des épis.

Les dimensions s'expriment toujours en pieds ou fractions simples du pied :

A Karnak, le pied usuel est, en chiffre rond, de $0^m,36$; les cotes sont :

Longueur 1^p; largeur $\frac{1}{2}$; épaisseur $\frac{2}{5}$.

A El Kab, même échantillonnage, sauf peut-être une valeur un peu plus grande du pied.

A Dendéra, le pied paraît être de $0^m,39$ et l'on a :

Longueur 1^p; largeur $\frac{1}{2}$; épaisseur $\frac{1}{4}$.

Aux galeries voûtées du Ramesséum, les grosses briques des murs sont pareilles à celles de Dendéra;

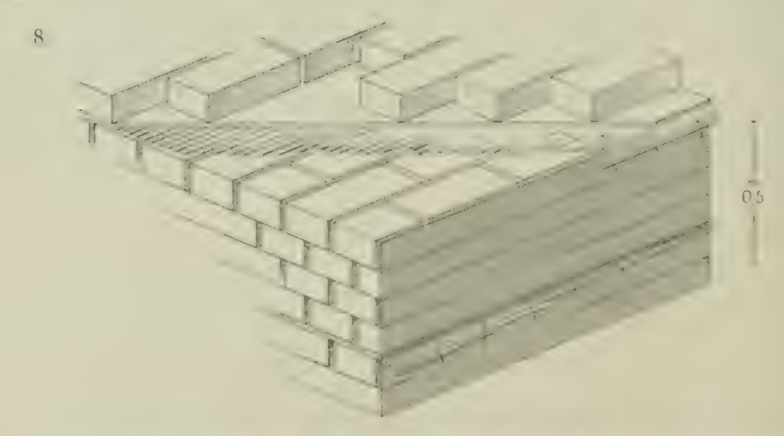
Les briques légères des voûtes dérivent du pied de $0^m,36$ et ont pour dimensions :

Longueur 1^p; largeur $\frac{1}{2}$; épaisseur $\frac{1}{6}$.

MODE D'EMPLOI.

Pose sur lits de mortier. — Pour la pose, on emploie un mortier fait de la même matière que les briques : de la terre, avec ou sans mélange de paille; l'épaisseur de cette couche argileuse n'excède guère 1^{cm}.

8



Il est des murs où les lits seuls sont garnis, les joints verticaux demeurent vides (fig. 8, ruines d'Assasif).

Pose sur lits d'alfa. — Souvent, avant de répandre le mortier, on étend sur l'assise achevée des pailles d'alfa.

On va même jusqu'à natter les brins (fig. 8).

Cette interposition de chaumes entre les assises est utile à bien des égards :

Les briques sont friables : En cas de tassement, la couche cède et les empêche de casser.

Les tiges sont toujours dirigées transversalement au mur : Elles résistent, à la manière des fibres métalliques de nos constructions armées, aux efforts qui tendraient à détacher le parement.

Enfin, la paille fait un drainage qui empêche le massif de s'imprégner d'humidité.

Les joints montants, lorsqu'ils sont vides, complètent l'assèchement.

Pose sur lits de sable. — Quelquefois c'est du sable qui s'interpose entre les assises :

Le sable répartit très bien les charges.

Sur un sol humide et sujet aux tassements, non seulement il draine la masse, mais il lui prête une flexibilité qui lui permet de se déformer sans se rompre.

Ainsi furent bâties les pyramides de brique de Dachour et de Hawara.

A quel état de siccité il convient d'employer les briques. — Une peinture associe l'atelier de fabrication des briques à l'atelier de pose : la terre, prise sur place, est façonnée à pied-d'œuvre.

Les carreaux ainsi moulés au fur et à mesure des besoins ne peuvent être qu'imparfaitement secs au moment de l'emploi.

Cet état de demi-siccité répond aux convenances de l'Égypte :

Le sol s'imprègne d'eau lors des crues, et les briques varient de

volume suivant les saisons : il est bon qu'elles soient posées sous leur volume moyen.

La construction de brique et le pisé. — Tels que les montre ce premier aperçu, les murs de terre sont de véritables maçonneries, faites de carreaux réguliers méthodiquement agencés.

On se demande s'il n'y a pas dans cette structure une complication superflue, et s'il n'eût pas suffi de pilonner la terre dans des encaissements de charpente :

Le limon du Nil est sujet à de forts retraits ; les couches du pisé se seraient gercées en se contractant.

LES PROCÉDÉS DE L'ÉGYPTE ET CEUX DE LA CHALDÉE.

En Assyrie, les constructeurs ont admis un moyen terme.

Le monticule sur lequel se dressait le palais de Khorsabad est fait de pains d'argile juxtaposés à l'état humide : Ces matériaux plastiques étaient employés sans mortier; et, grâce aux joints, ils se contractaient sans gerçures.

Le système qui se rapproche le plus de celui de l'Égypte est celui de la Chaldée :

Les murailles de Babylone sont des amas de briques où le bitume joue le rôle des lits de terre; et des couches de roseaux noyées dans ce bitume répondent aux nattes que les Égyptiens jetaient entre les assises.

Si la méthode égyptienne a des attaches asiatiques, c'est aux procédés chaldéens qu'elle semble le plus étroitement apparentée.

MURS DE BRIQUE A LITS HORIZONTAUX.

Les buttes qui marquent le site des villes égyptiennes sont presque

entièrement composées des débris de maisons de brique construites les unes sur les ruines des autres.

Ces modestes bâtisses offrent l'application pure et simple des procédés qui viennent d'être décrits.

Mais, pour les murs énormes qui servent de remparts, il fallait faire entrer en ligne les exigences d'organisation des chantiers, et ces effets de gonflement et de contraction que les alternatives d'humidité et de sécheresse déterminent dans les masses argileuses.

Les murs de défense se rapportent à deux types de construction bien distincts : à lits horizontaux; à lits ondulés.

Nous examinerons en premier lieu ceux dont les assises sont horizontales.

ABSENCE DE FONDATION.

Les Égyptiens ont quelquefois donné aux massifs de brique un socle en matériaux plus résistants; jamais, que nous sachions, ils n'ont cherché à les asseoir sur les couches profondes du sol.

Il serait, en effet, fort inutile de creuser pour atteindre un fond solide : Le limon qui se présente à la surface ne diffère en rien de celui qu'une fouille mettrait à nu. On se contente de décaper le sol, puis de l'affermir par arrosage probablement, certainement par pilonnage.

Le signe hiéroglyphique qui se traduit par « fonder, entourer d'une enceinte », figure un terrassier manœuvrant un pilon :
Pour les Égyptiens, fonder c'était régulariser le sol et lui assurer par pilonnage un surcroît de résistance.

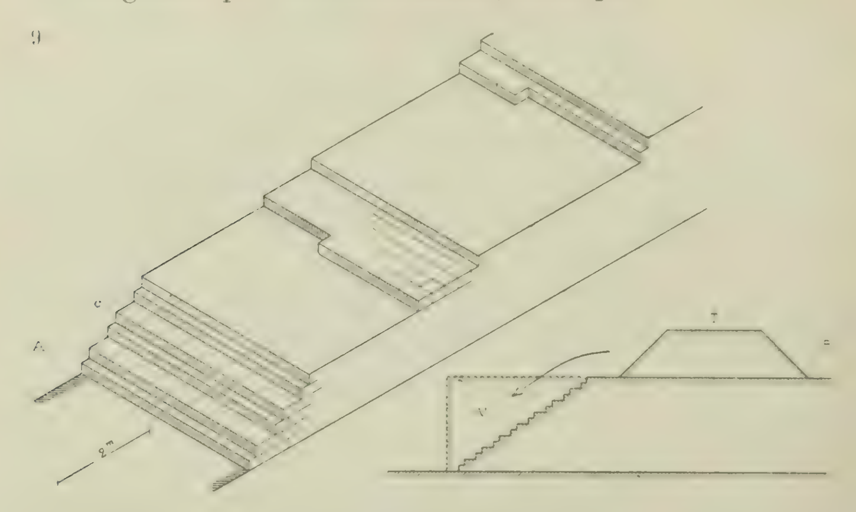
ASPECT DES MAÇONNERIES.

Le massif (pl. X) est fait d'assises de briques à plat, et interrompu par des arases en briques de champ.

La fig. 9 indique une disposition de matériaux qui paraît spéciale à cette sorte de murs :

Un rangement par files transversales, telles que *c*.

9



Dans les maçonneries ainsi constituées, on n'aperçoit presque jamais de trous de boulins.

MODE D'EXÉCUTION SANS ÉCHAFAUDAGE.

L'absence de boulins éveille l'idée d'une économie bien naturelle dans un pays où le bois manque, elle fait présumer une construction exécutée sans échafaudage.

Gradins de service. — L'agencement des matériaux s'accorde avec cette conjecture :

Les files de briques étant dirigées transversalement, rien de plus simple que de monter le mur par gradins, tels que *c*.

Ces gradins sont des escaliers tout préparés pour les serveurs portant les briques.

Modes de protection des gradins. — Le danger est d'ébranler par la marche les maçonneries encore fraîches.

Au besoin, on les protège par des planches. C'est ce que paraît indiquer une peinture où l'on distingue un mur amorcé par degrés et, sur ces degrés, des madriers inclinés.

On évite ainsi les chocs, et l'on transforme l'escalier en une rampe plus commode.

Quelquefois on se contente de répandre du sable sur les lits destinés à la circulation.

Les nattes (pag. 12) offrent la meilleure des garanties.

Autant que possible, le service se fait sur les arases en briques de champ, qui risquent moins de se briser : d'ordinaire ces arases sont sablées.

Effacement final des gradins. — Arrivons à l'instant où la construction s'achève.

Le mur est à l'état indiqué par le croquis B : Il reste un vide triangulaire V.

Comment combler ce vide sans recourir à un échafaudage?

La solution se présente d'elle-même :

Les échelons existent, profitons-en pour approvisionner en T, sur le sommet du mur, les matériaux destinés à remplir le vide V; puis faisons-les redescendre.

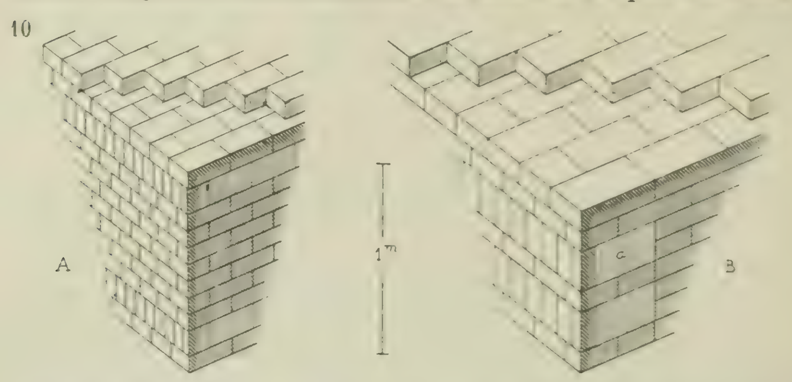
Il y aura pour ces matériaux T double manœuvre : montée et descente; mais, sous un régime où le travail compte peu, ce parti est préférable à l'installation d'un échafaudage.

DÉTAILS ET VARIANTES.

Les exemples ci-contre précisent les dispositions de détail.

Le fragment fig. 10 A (Abydos, Chounet-ez-Zezib) répond de point en point à la description qui précède :

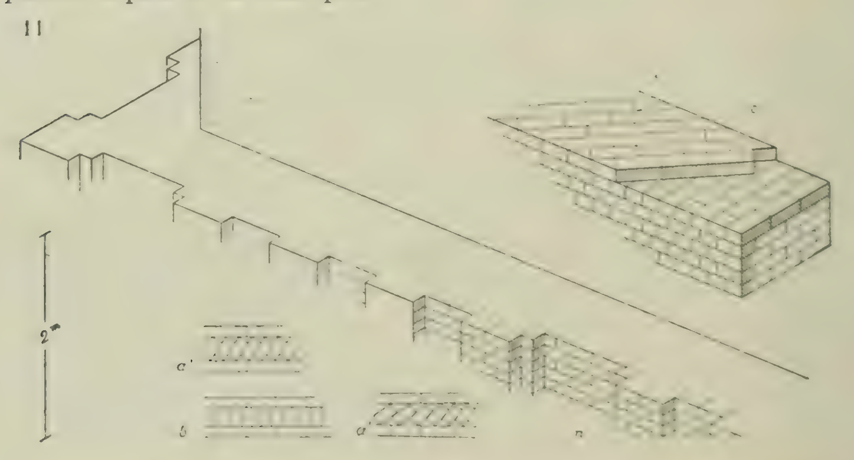
Joints alignés transversalement; arases en briques de champ.



Les figures 10 B et 11 indiquent les principales variantes :

DISPOSITIONS DIVERSES DES ARASES.

A l'enceinte de la cour d'Ombo (fig. 11 *c*), les briques d'arase sont posées à plat et en écharpe :



Aux Longs murs d'Assouan (fig. 11, *a*, *a'*, *b*), elles se présentent tantôt sur champ (*b*), tantôt (*a'*) sous une inclinaison qu'on fait jouer pour ramener à l'horizontale les lits qui s'en écartent.

MURS A REVÊTEMENT DÉCORATIF.

Le gros mur du fort d'Abydos (fig. 11 *m*; pl. X 2), est revêtu d'un parement décoratif *n*, à rudentures.

Les sujétions de cette maçonnerie ornée auraient entravé la marche générale :

Elle fut exécutée à part et probablement avec plus de lenteur : elle s'accole au noyau, sans aucune liaison.

Aux galeries du Ramesseum (fig. 10 B), les parements *a* présentent une certaine recherche ornementale :

Ils sont indépendants du corps des maçonneries.

MURS CHAINÉS.

Dans quelques murs à lits horizontaux, en particulier à la forteresse de Semné, on distingue des cours de madriers, ou même de troncs d'arbres, noyés au milieu des massifs.

Le rôle de ces longrines est expliqué par Philon de Byzance :

Elles étaient enclavées dans les murs en vue de répartir le choc des machines de guerre.

Les constructeurs modernes, qui en ont conservé la tradition, les considèrent comme un moyen de disséminer les secousses de tremblements de terre.

Accessoirement, elles servaient à faire liaison :

C'étaient des chaînages, peu exposés à la pourriture sous le climat de l'Égypte.

MURS A NOYAU DE TERRE OU DE BLOCAGE.

Le rectangle fortifié d'El Kab est coupé par une muraille transversale (pl. IX 2), dont l'intérêt défensif était fort secondaire.

Cette muraille, au lieu d'être constituée par un massif de briques, se réduit à un soubassement plein ; deux parements de brique ; et, entre les deux, un noyau de remblai.

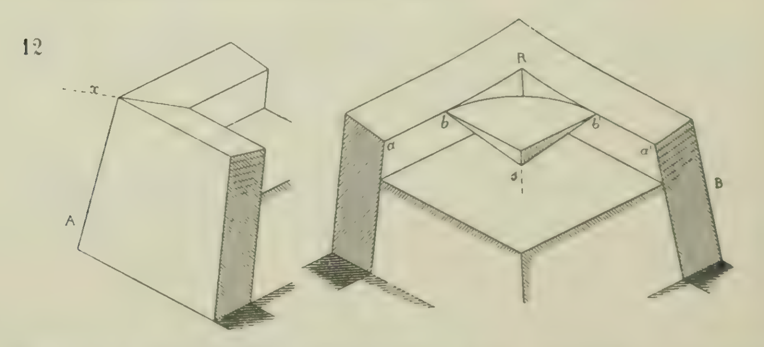
Aux Longs murs des défilés d'Assouan, on s'est contenté d'un seul parement :

Le noyau est un amas de moellons de granit, avec masque en maçonnerie de brique.

RETROUSSIS DES ANGLES.

Lorsque le mur est adossé à des terres; en d'autres termes, lorsqu'il agit comme soutènement, on le déverse et l'on donne à ses lits (fig. 12 A) une inclinaison normale à celle de son parement.

Cette circonstance ne change en rien l'organisation du chantier ni la disposition courante des assises :



Mais à la rencontre de deux pans de mur, comment liaisonner les lits plongeants?

Il serait souhaitable d'éluder l'angle rentrant *x*.
On lui substitue (diagramme B) un raccordement progressif :

De *a* en *b*, les lits sont plans; de *b* en R ils se courbent suivant une surface que l'on peut assimiler à un cône dont le sommet serait en *s*.

Cette surface coupe les parements suivant des arcs qui se relèvent de *b* en R : De là ces lits à extrémités retroussées qui s'observent notamment à l'enceinte antique du couvent copte d'Abydos.

Dès que l'angle vif *x* est remplacé par un arrondi, le retrous-

sis R doit se produire; il est une conséquence du mode de raccord et n'a, quant au principe, rien de commun avec la construction ondulée dont l'étude va suivre.

MURS DE BRIQUE A LITS ONDULÉS.

Il semble qu'en bonne construction les assises d'un mur doivent être nivelées :

Les Égyptiens ont dérogé à cette règle lorsqu'ils élevèrent les enceintes de Karnak, El Kab, Dendéra, Philé, Ombo.

LES FAITS.

Ici les assises ne sont ni horizontales ni continues. Les lits (pl. I à VIII) subissent des alternatives de plongement et de relèvement : le mur se compose de travées qui sont de deux en deux plongeantes.

Et jamais deux travées ne se liaisonnent ensemble : toujours une coupure très nette les sépare, comme si la masse avait été fendue d'un trait de scie.

Ces ondulations étranges seraient-elles de simples effets de tassement?

Il suffit pour écarter cette hypothèse de se reporter aux photographies pl. I, où les courbes se dessinent dans un soubassement de pierre fondé sur le roc vif.

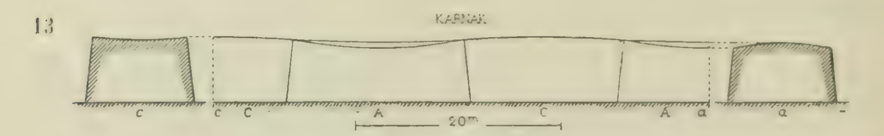
TYPE GÉNÉRAL.

L'exemple ci-contre (fig. 13 : enceinte de Karnak) réunit toutes les particularités du système.

Profil en long. — Le profil longitudinal du mur présente une suc-

cession d'ondes inégales : les unes concaves A; les autres C, convexes.

13



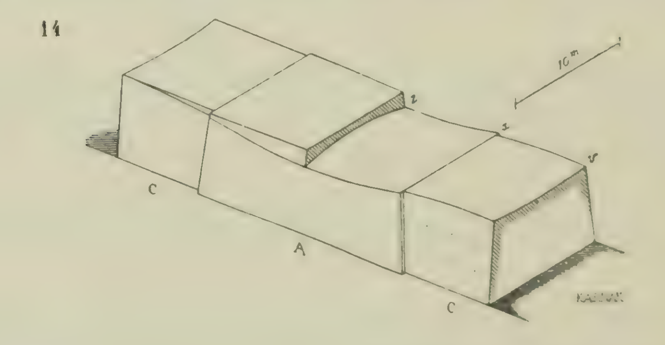
Les ondes concaves A ont à la fois l'amplitude la plus grande et la courbure la plus accentuée.

Profil en travers. — Si nous coupons transversalement l'onde plongeante A, nous la voyons se profiler selon une courbe convexe *a*, reconnaissable sur les photographies pl. VI 1 et V 1.

D'ailleurs le profil se modifie suivant le point où on le relève : la surface n'est point cylindrique, mais pour ainsi dire ensellée.

La perspective fig. 14 en fait sentir l'allure.

14



Le maximum de la courbure transversale correspond au creux de l'onde, il se trouve en z;

Puis, de z en x, le profil va s'aplatissant.

En x la courbure s'efface;

De x en v elle change de sens.

DONNÉES NUMÉRIQUES.

Précisons ces indications par des chiffres.

Longueur des travées. — La longueur de l'onde convexe varie entre la moitié et les $\frac{4}{5}$ de celle de l'onde concave.

Profil de rive. — Dans la partie concave, le rapport de la flèche à la corde descend rarement au-dessous de $\frac{1}{25}$;

Dans la partie convexe, ce rapport n'excède guère $\frac{1}{30}$.

Profil en travers. — En z, la flèche du profil transversal est quelquefois $\frac{1}{20}$ de la corde;

En v, elle est à peine appréciable.

NATURE DES COURBES.

Il serait illusoire de demander à des mesures la définition de courbes aussi tendues :

Nous indiquerons plus loin les présomptions en faveur du tracé en chaînette.

DÉCROCHEMENTS EN PLAN.

Rarement la travée convexe suit l'alignement des travées concaves : elle fait retraite, les travées concaves font avant-corps (fig. 14).

ASPECT DU PAREMENT.

Le parement présente une inclinaison plus ou moins marquée, ordinairement voisine du dixième.

Et ce parement n'est point une surface plane; sa trace sur le sol décrit une ligne légèrement courbe, que l'on distingue en A fig. 14 : La travée s'étrangle en son milieu.

Nous verrons que cet étranglement est une conséquence immédiate, nécessaire de la forme ensellée des lits.

RÉSUMÉ DES DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Avant d'aller plus loin, réunissons les caractères qui ressortent de cette description d'ensemble :

Mur fractionné (fig. 14) par travées inégales, que des plans de déliaisonnement x séparent les unes des autres.

Une travée sur deux est plongeante et affecte une forme ensellée zx :

Lits concaves dans le sens longitudinal, convexes dans le sens transversal ;

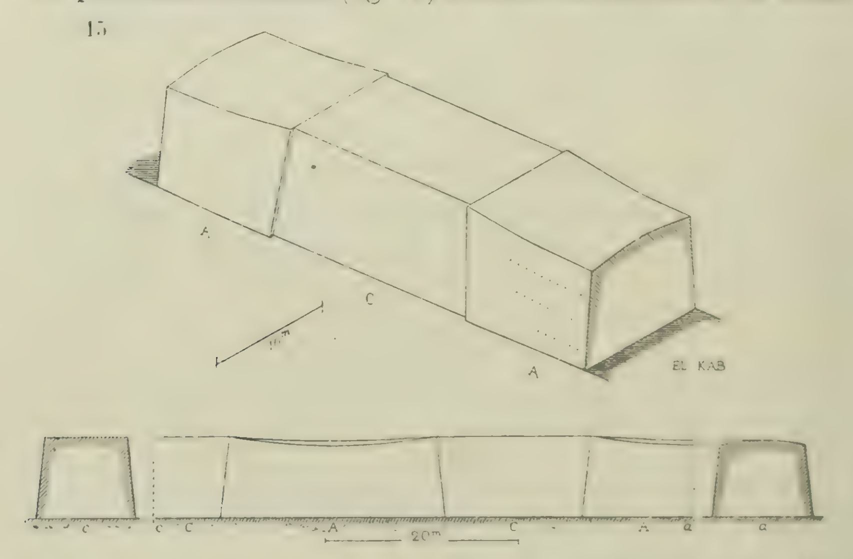
Dans la travée intermédiaire xv, contre-ensellement :

Profil en long convexe ; profil en travers, concave.

VARIANTES.

En pratique, ce type comporte des simplifications.

La plus usuelle consiste (fig. 15) à effacer la courbure de la travée



15

convexe : intercaler, entre deux travées plongeantes et ensellées, une travée droite, généralement fort courte.

D'où la variante fig. 15.

Cette variante, ainsi que la disposition normale fig. 14, se rencontre et à Karnak et à El Kab :

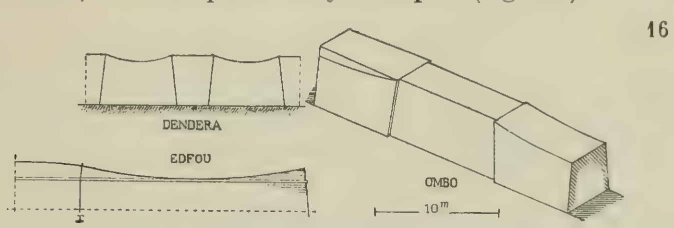
A Karnak (pl. III, IV), c'est le type normal qui domine ;

A El Kab (pl. V à VII), c'est le type modifié.

A Philé (pl. I, II 1), à Ombo (pl. IX 1), à Dendéra on retrouve

l'association de tronçons à lits horizontaux et de tronçons à lits plongeants :

Mais les assises plongeantes, au lieu de se présenter sous la forme ensellée, sont simplement cylindriques (fig. 16).



Citons enfin, comme applications simplifiées ou comme dérivés du type :

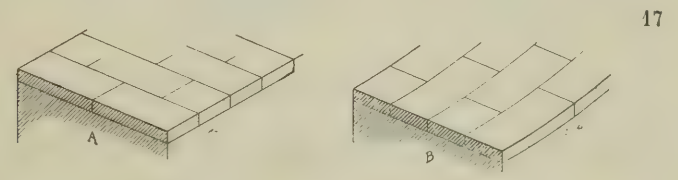
Les remparts du Kom es Sultan d'Abydos, qui consistent (pl. VIII 2) en longues courtines interrompues de loin en loin par des travées plongeantes ;

Le mur de la cour d'Edfou (fig. 16), où les coupures x subsistent ainsi que l'inégalité des travées alternantes, mais où l'ondulation apparaît seulement vers le sommet, dans des assises ajoutées.

AGENCEMENT DES BRIQUES.

Dans tous les murs à lits ondulés, les briques présentent le même mode d'agencement ; et ce mode est inverse de celui que nous avons reconnu (pag. 16) pour les murs à lits nivelés.

La fig. 17 met en regard les deux modes de rangement :



Les briques des murs horizontaux A sont alignées par files transversales ;

Celles des murs ondulés B se disposent toujours par files parallèles à l'axe : carreaux dans une assise ; boutisses à l'assise suivante.

Dans les murs nivelés, les arases en briques de champ étaient de règle : ici elles n'existent qu'à titre d'exception.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION.

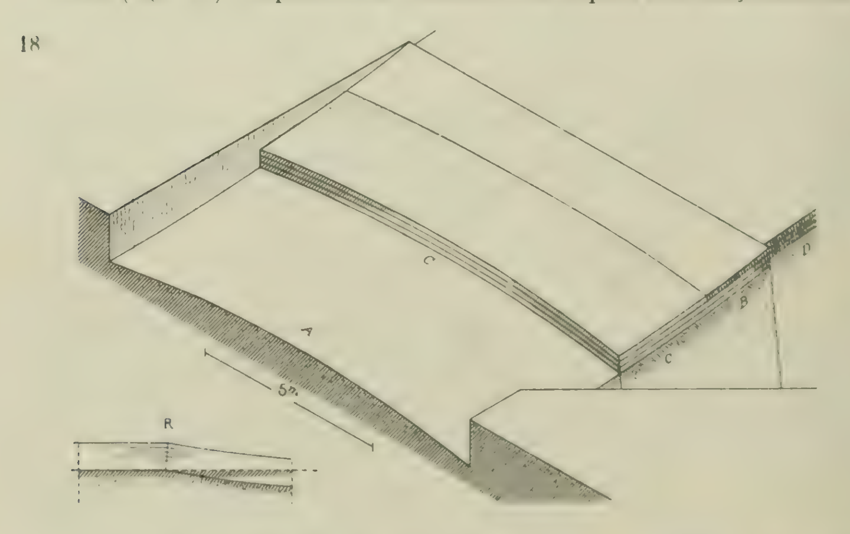
ASSISES DE DÉPART.

L'enceinte d'Esné et celle du temple de Mout à Karnak s'élevaient sur des quais ; celle du temple de Philé repose sur un soubassement de pierre.

En général le massif de brique crue prend son assiette directement sur le sol, sauf un léger déblai à l'endroit des travées plongeantes.

Voici (fig. 18) l'aspect de la fouille, et le départ des maçonneries.

18



La fouille est ensellée, comme les lits qui se mouleront sur elle.

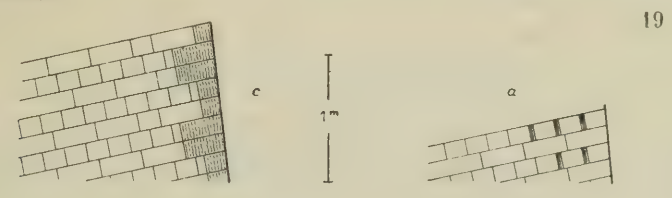
Les premières assises CB sortent de terre par leurs extrémités.

Tout ce qui se trouve en contre-bas du sol est en limon battu : Seule la partie B qui émerge est de brique (tranches teintées).

ARÊTES.

Nous avons dit que les travées concaves se détachent en saillie.

La régularité de l'arête est assurée (fig. 19 *c*, Karnak) par une chaîne d'angle; ou bien (variante *a*, El Kab) par un compromis d'appareillage.



Dans un cas (*a*) on joue sur la largeur des joints; dans l'autre cas (*c*) les incorrections de découpe se passent en deçà de la chaîne d'angle.

INDICES D'ÉCHAFAUDAGE.

Tandis que les massifs à lits horizontaux paraissent exécutés sans échafaudages, les murailles ondulées de Karnak et d'El Kab portent la trace de charpentes auxiliaires : des trous de boulins contenant des restes de solives (fig. 14, p. 22; fig. 15, p. 24).

Ces solives, toujours en palmier non équarri, s'espacent moyennement de 2 en 2 pieds.

Les planchers suivent le mouvement ondulé des lits et s'échelonnent de 6 en 6 pieds.

RECONSTITUTION DES CHANTIERS.

Si l'on juge des sujétions par la complexité des formes, le système ondulé semble une conception peu pratique.

La complication est purement apparente :

Que la fouille soit réglée suivant la surface ensellée des lits, la première assise de briques épouse les ondulations de la fouille; la

deuxième se modèle sur la première; et toute difficulté s'évanouit si l'on possède un moyen simple de donner à la fouille cette forme ensellée que reproduisent les assises.

MOYENS DE DIRECTION. MARCHE DU TRAVAIL.

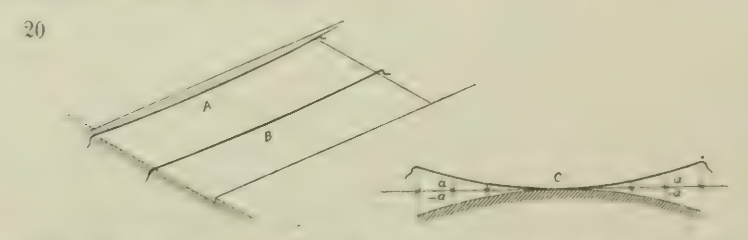
a. — TRACÉ DES COURBES.

Les peintures nous montrent des ouvriers se servant, en guise de règles, de cordeaux tendus.

Admettons qu'ici on ait fait usage d'un cordeau fléchissant (fig. 20) :

Les courbes plongeantes A, B seront des chainettes données par la flexion même du cordeau.

20



Quant aux courbes convexes, le cordeau les fournira tout aussi bien :

Il suffira (croquis C) de renverser les ordonnées.

Soit z l'ordonnée de la chainette plongeante. — z sera celle de la contre-chainette.

b. — RÉALISATION DE LA SURFACE ENSELLÉE DE LA FOUILLE

Ce point de départ admis, le réglage de la fouille est immédiat :

Il suffit pour l'obtenir de se guider, comme il vient d'être dit, à l'aide d'un cordeau, dont on fera varier la tension selon que la flèche doit être moindre ou plus grande.

c. — RÉALISATION DE LA SURFACE ENSELLÉE DES LITS. CONVENANCE DU RANGEMENT DES BRIQUES PAR FILES LONGITUDINALES.

Si l'on était assuré de l'uniforme épaisseur des assises, l'allure ensellée de la fouille se transmettrait sans altération de lit en lit, et le mode de rangement des briques serait indifférent.

En fait, il est prudent de s'assurer que les erreurs ne se cumulent pas.

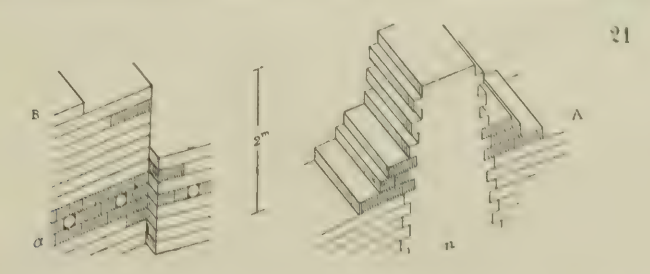
Autrement dit, il faut répéter de temps en temps le tracé au cordeau.

Ce contrôle suppose que les briques s'alignent suivant la direction du cordeau :

De là sans doute la préférence pour le rangement par files parallèles à l'axe (pag. 25).

d. — AMORCE DES ASSISES.

On met en place tout d'abord (fig. 21 A) les cours de briques *n*



constituant le noyau du massif; et le travail ainsi amorcé se continue en marchant du milieu vers les rives, sans autre préoccupation que de vérifier le maintien des profils.

Pourvu que le noyau-amorce *n* soit monté en talus, le parement du mur prend de lui-même l'inclinaison qui lui convient.

CONSÉQUENCES DU PROCÉDÉ.

Jarrets dans la courbure des lits. — Le cordeau ne donnera que dans des cas particuliers une succession de courbes se raccordant entre elles :

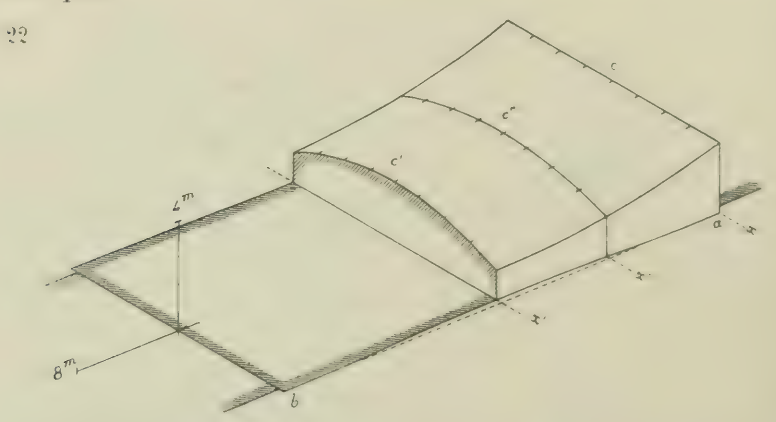
Même aux soubassements appareillés de Philé le défaut de raccord est sensible (pl. II 1).

Impossibilité de parements plans. — Dès que les assises sont ensellées, le parement du mur ne peut être plan :

Imaginons (fig. 22) des sections transversales telles que x, x', x''.

Ces sections sont des arcs c, c', c'', de flèches inégales, mais tous d'égal développement, puisque tous correspondent au même nombre de briques.

22



Les épaisseurs du mur, mesurées en x, x', x'', ne sont autre chose que les cordes de ces arcs c, c', c'' :

Où la flèche est plus grande, la corde doit être moindre.

Donc la travée doit se rétrécir vers son milieu :

De là l'étranglement qui s'observe à toutes les travées ensellées de Karnak et d'El Kab (fig. 14, p. 22 ; fig. 15, p. 24).

Nécessité d'échafaudages. — Enfin, les briques étant disposées par files longitudinales, on ne peut ménager dans la maçonnerie ces gradins (pag. 16) qui permettraient de monter les matériaux sans installations auxiliaires :

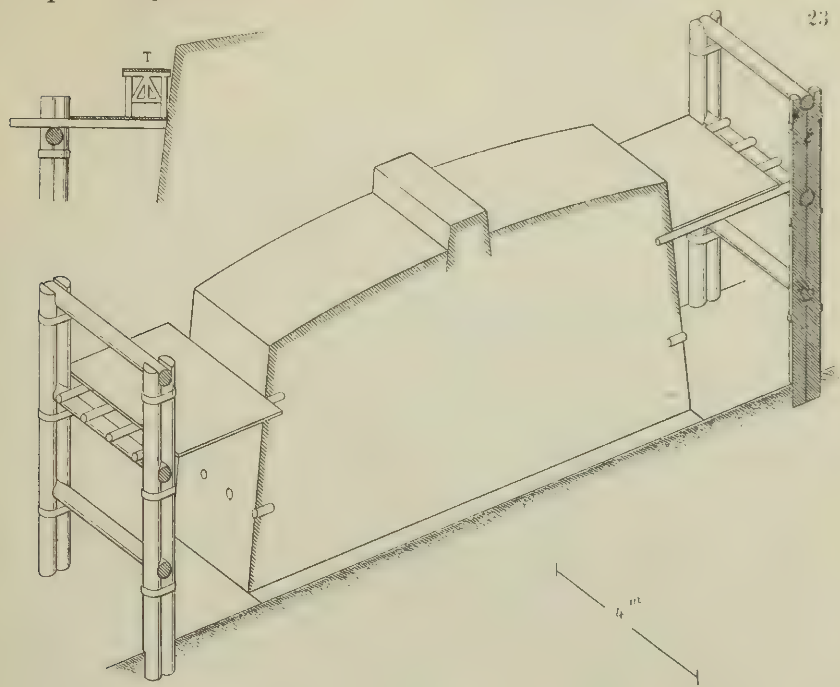
On doit recourir à des échafaudages ou, tout au moins, des rampes de service.

LES ÉCHAFAUDAGES.

Planchers. — Les fig. 23 et 24 montrent l'échafaudage, rétabli d'après la répartition des boulins.

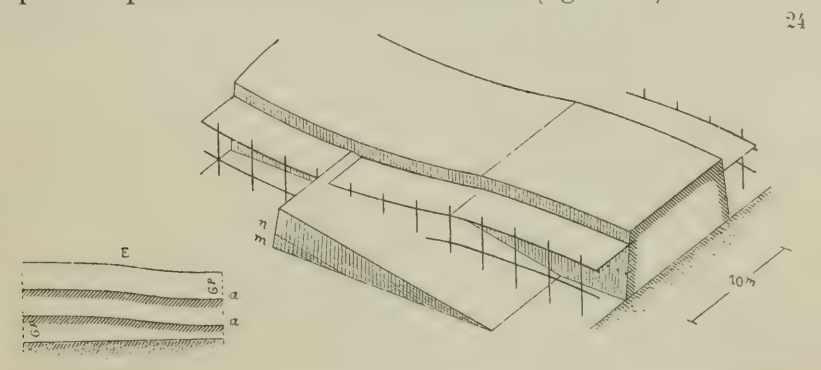
L'intervalle de 6 pieds entre deux étages est celui que nous adoptons aujourd'hui : il résulte de la taille humaine.

23



Les planchers épousant l'ondulation des lits, la distance du sol au premier plancher est sans cesse variable (fig. 24 E) :

24



Au point culminant, cette distance est égale à l'intervalle normal, soit 6 pieds ; au point le plus bas, dans certaines travées de Karnak et d'El Kab, elle se réduit à 2 pieds $\frac{1}{2}$.

Le bois étant rare, il est probable que les mêmes solives resservaient d'étage en étage :

Celles de Philé (pl. I) furent arrachées, et l'on remplit les vides par des fourrures de pierre.

L'arrachage est une cause d'ébranlement; les constructeurs d'El Kab et de Karnak se le sont interdit : ils scièrent le bois à fleur du parement, laissant l'extrémité dans le massif, où elle se retrouve.

Rampes d'accès. — Les échafaudages de Karnak furent peut-être desservis par des rampes provisoires.

A El Kab, des rampes permanentes existent (fig. 24; pl. VII) : elles sont indépendantes du corps du mur, et construites par lits inclinés, ce qui permettait de les surhausser à volonté.

REMARQUES SUR L'ORGANISATION DES CHANTIERS.

Existence d'un chantier par travée. — On suit à travers les arrachements d'El Kab (fig. 21 B, pag. 29) des files de briques d'une nuance bien tranchée, qui s'interrompent à la limite des travées.

Ce brusque arrêt montre que chaque travée a constitué un chantier distinct, s'approvisionnant individuellement et fonctionnant à part.

Les divergences de procédés; leur correctif. — L'indépendance des chefs de ces chantiers se manifeste par la variété même des procédés qu'ils adoptent :

A Karnak, les lits sont tantôt de terre, tantôt de terre et alfa; dans quelques travées, l'alfa est employé simplement comme arase. A El Kab, il n'existe que vers l'angle N.-O. de l'enceinte.

Selon les travées, les arases en briques de champ sont très diversement réparties.

Les joints sont ici serrés et pleins; là, vides et lâches.

Ces différences pourraient rendre fort imparfait le raccordement des travées :

On supprime tout raccord; et l'on sauve la transition par un redan en plan (pag. 23), un décrochement où les irrégularités échappent à la vue.

La division du travail. — Voici donc la distribution du travail :

A chaque travée une équipe distincte; dans chaque équipe, partage des opérations entre une escouade de maçons amorçant l'ouvrage (pag. 29), et une troupe de manœuvres exécutant le gros du massif.

Des chefs assez maîtres des moyens pour être responsables du succès.

Aucun chevauchement d'un atelier sur l'autre. Les retards, les difficultés d'approvisionnement d'un chantier ne sauraient réagir sur l'ensemble : Tout est combiné en vue d'une marche rapide et sans entrave. C'est, à deux mille ans de distance, l'esprit d'ordre qui règnera sur les chantiers romains.

ESSAI D'EXPLICATION DES LITS ONDULÉS.

Nous avons exposé les faits, décrit la forme ondulée des lits et les procédés qui permirent de la réaliser : essayons de remonter aux raisons qui la firent adopter.

L'INFLUENCE DES EAUX SOUTERRAINES.

Sur les collines, où le sol est toujours à sec, on ne rencontre guère que des murs sans ondulations :

Tels les remparts des défilés d'Assouan, ceux des monticules de Semné et de Koummé; ceux des forts qui couronnent les hauteurs d'Abydos.

Au contraire, les murailles ondulées occupent généralement des

sites qu'approchent de très près les filtrations des crues; à peine peut-on citer comme exception l'enceinte de Deir el Mediné :

A El Kab, à Karnak, le plan d'eau des crues affleurait presque le pied des remparts.

A Esné, les anciens murs de terre s'élevaient sur des quais (pl. II 2) juste suffisants pour les mettre hors de l'atteinte du fleuve;

Dendéra, Philé, Ombo dominent peu les eaux débordées.

Abydos présente, à côté des enceintes à lits horizontaux de ses deux forts, des murailles construites dans la vallée: seules les murailles de la plaine ondulent :

Dès que les infiltrations approchent, le système ondulé apparaît.

Ne serait-il pas un correctif des influences que le voisinage d'une nappe d'eau peut exercer sur des matériaux essentiellement hygrométriques?

Pendant la chaleur du jour, l'humidité souterraine pénètre les masses sous forme de vapeur; pendant le froid de la nuit, elle se condense entre les briques, qu'elle gonfle et lubrifie :

Le mur se dilate, les surfaces des lits deviennent savonneuses.

Que le sol soit imparfaitement nivelé, on peut craindre, indépendemment des pressions intérieures dues au gonflement des briques, des effets de glissement en masse : le mur se comportera comme ces collines d'argile qui, à la moindre humidité, se déplacent et entraînent ou écrasent tout obstacle.

A. — EFFETS DE GLISSEMENT.

Le long de murailles dont le développement atteint quelquefois 500m, on doit s'attendre à des pentes et contre-pentes :

Il faut des garanties de fixité qui soient indépendantes des inégalités du sol.

La structure ondulée offre ces garanties :

UTILITÉ DE L'ONDULATION.

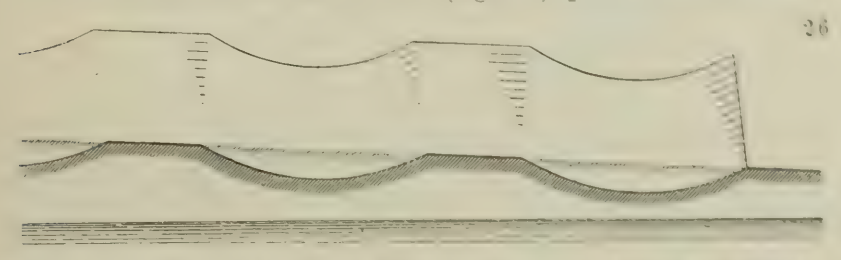
Prenons (fig. 25) une travée isolément.

Si elle repose sur un plan incliné (A), elle coulera dans le sens de la pente :



Donnons-lui un profil plongeant (A'), la marche est enrayée.

Un mur ondulé n'est autre chose (fig. 26) qu'une courtine interrompue à des intervalles plus ou moins rapprochés par des travées plongeantes, paliers invariables où vient s'amortir l'effort de descente des travées droites. Le mur engrène, mord en quelque sorte à dents de scie sur le sol; et, dans le corps du mur, une assise mord sur l'autre.



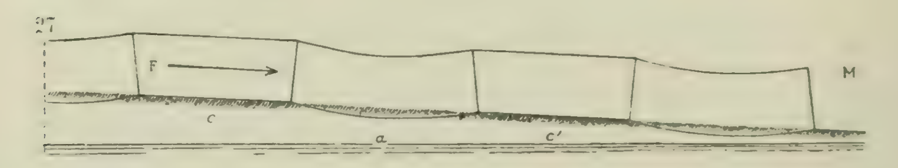
Vainement essayerait-on d'échapper aux sujétions des lits courbes par une structure à redans (fig. 25 A″) : des redans se briseraient ;

Le drainage (pag. 13) ne peut empêcher que les glissements lit sur lit :

Dès que le sol présente une pente longitudinale, le profil ondulé s'impose.

RÔLE DES TRAVÉES CONVEXES.

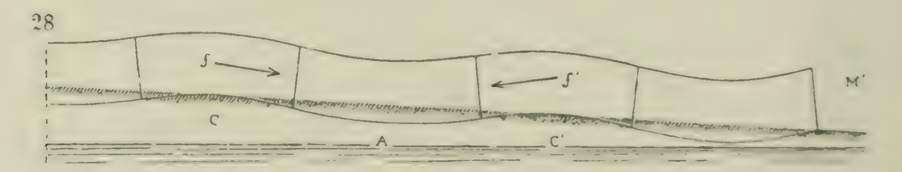
Soit M (fig. 27) un profil obtenu, comme il vient d'être dit, en intercalant des travées d'arrêt *a* entre des tronçons de courtine *c*, *c'*, qui suivent la pente naturelle du sol :



Le tronçon incliné *c* exerce sur la travée-arrêt *a* une poussée F, dangereuse si la pente est forte.

On peut parer à ce danger.

Il suffit (fig. 28) de substituer aux travées droites *c*, *c'* des travées convexes, telles que C, C' :



La poussée F se trouve remplacée par un effort *f*, à peu près moitié moindre.

Non seulement la poussée s'atténue, mais un effort symétrique *f'* se développe, qui contrebalance sensiblement l'effort *f*.

Détails de tracé. — Pour que l'effort *f* soit aussi réduit que possible, il importe :

1° Que le tronçon C présente peu de développement ;

2° Que sa convexité soit limitée au strict nécessaire.

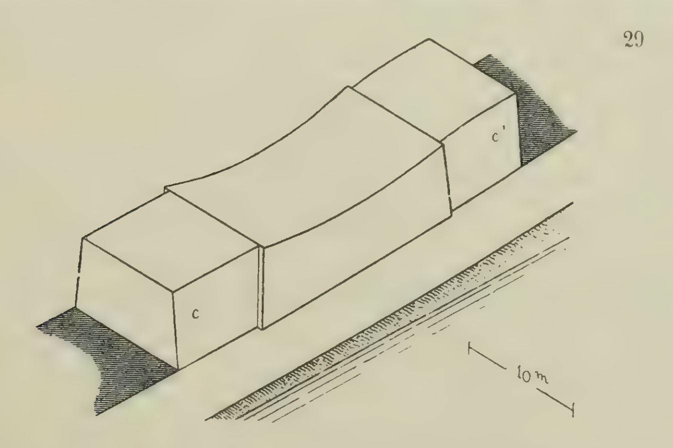
Cette double condition est réalisée dans les murs bâtis suivant le système ondulé :

Toujours les travées convexes sont plus courtes que les travées concaves;

Toujours leur courbure est de plus grand rayon (pag. 23).

Profils mixtes. — La convexité n'est sérieusement utile que sur les sols en pente raide.

Les enceintes d'El Kab et de Karnak présentent, selon la raideur



des pentes (fig. 29; pl. III 1, V 2), tantôt des travées convexes, tantôt de simples tronçons droits.

B. — EFFETS DE GONFLEMENT.

Un mur que des ondulations accrochent au sol, peut être considéré comme à l'abri des risques de glissement.

Mais là ne s'arrête point le problème :

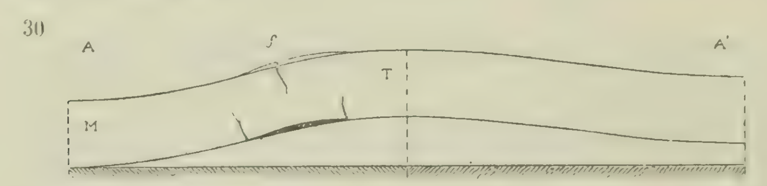
Il faut compter avec la nature hygrométrique des matériaux argileux, qui varient de volume selon les alternatives d'humidité et de sécheresse.

Envisageons d'abord la période de gonflement, celle où les eaux souterraines approchent du pied des murs.

UTILITÉ DE L'ENSELLEMENT.

En s'imprégnant d'humidité, la masse se dilate; et, si elle est ondulée, elle risque d'éprouver (fig. 30 A) des flexions *f* accompagnées de fractures.

30



Plus l'ondulation est prononcée, plus la masse est flexible, plus les fractures sont à craindre :

Il convient donc d'atténuer l'ondulation à mesure que l'humidité agit davantage.

Vers les rives l'humidité agit peu, grâce au rayonnement solaire : La dilatation est faible, on peut franchement accentuer les courbures.

Mais à mesure qu'on approche de l'axe on rencontre des tranches de moins en moins sèches :

Si l'on veut prévenir les déformations il est prudent d'effacer progressivement les ondes;

D'un profil tel que A on passe à des profils tels que A' en courbes plus tendues :

C'est l'ensellement (pag. 22).

C. — EFFETS DE RETRAIT.

Arrivons à l'époque où les eaux de filtration baissent, où le gonflement cesse :

Si les briques n'avaient été soumises qu'à des efforts inférieurs à la limite de leur élasticité, le retrait serait un simple retour à la forme originelle.

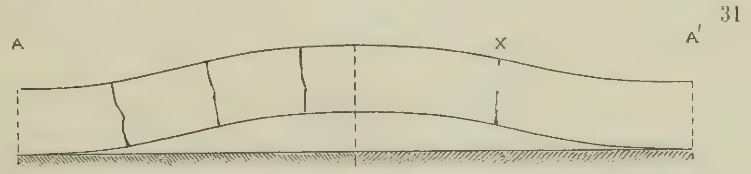
Tel n'est pas le cas des massifs de brique crue : Leur limite d'élasticité est vite dépassée; des effets d'écrasement permanent peuvent se produire; et la matière, réduite de volume, ne se contracte qu'en se gerçant.

UTILITÉ DES COUPURES.

Ici interviennent les coupures séparatives des travées.

Un mur ondulé où les briques se liaisonneraient sans discontinuité subirait pendant la période de sécheresse des lézardes telles que les indique la fig. 31 A :

31



Tronçonnons la masse par des coupures X (fig. 31 A′), les retraits se régularisent :

Au lieu de fentes disséminées qui compromettraient la solidité, il se produit en X une simple disjonction.

D'ailleurs ce n'est pas au seul point de vue des retraits que le sectionnement se justifie :

Les travées, rendues indépendantes, peuvent tasser individuellement si le sol s'affaisse;

Et, lorsque les assises se resserrent sur elles-mêmes, plus elles présentent de coupures moins elles sont exposées à plisser.

CAS OU LES DISPOSITIONS SE SIMPLIFIENT.

Nous avons cité (pag. 25) des exemples où le type est plus ou moins incomplètement observé :

Rapprochons les simplifications des circonstances qui les accompagnent.

MURS A LITS NON ENSELLÉS.

L'ensellement des travées concaves s'explique (pag. 38) par le besoin de compenser les inégalités de tension hygrométrique qui existent dans l'épaisseur des murs.

Lorsque les murs sont peu épais ou peu exposés à l'humidité, ces inégalités sont négligeables :

L'ensellement s'observe dans les murailles de Karnak et d'El Kab, dont le pied est presque atteint par les filtrations, et dont l'épaisseur excède 12^{m}.

Pour les enceintes de Philé, Ombo, Dendéra on s'est contenté de lits cylindriques (pag. 25 fig. 16).

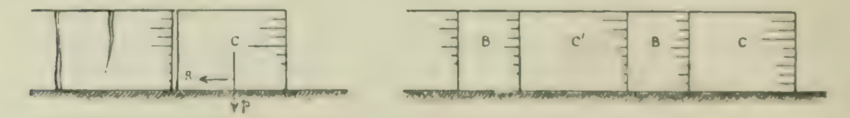
COURTINES INTERROMPUES PAR DES TRAVÉES CONCAVES.

La principale muraille d'Abydos (Kom es Sultan, pl. VIII 2) est située loin du Nil : On a considéré comme une garantie suffisante contre les glissements la présence de quelques paliers concaves rompant de loin en loin la continuité des courtines.

MURS SIMPLEMENT SECTIONNÉS.

A l'enceinte de la cour d'Edfou (pag. 25 fig. 16), on paraît avoir compté sans réserve sur l'horizontalité du sol. Point d'ondulations dans les lits ; on s'est préoccupé uniquement des effets de dilatation et de retrait :


32



Le mur — du moins avant son surhaussement — se réduisait (fig. 32) à une courtine bâtie par lits horizontaux, et subdivisée en tronçons alternativement longs et courts.

Le tronçon de tête *p* développait sur le sol une résistance de frottement R suffisante pour équilibrer l'effort de poussée dû au gonflement. Le sectionnement du massif empêchait les gerçures par retrait.

MURS A LITS CONTINUS.

Enfin nous rencontrons à Karnak, dans le soubassement de l'enceinte du temple de Mout, un massif ondulé qui ne présente aucune trace de sectionnement.

Ce massif est construit en briques cuites (pag. 11), c'est-à-dire en matériaux dont le volume ne varie pas : On n'avait aucune raison de le subdiviser par des coupures.

RÉSUMÉ.

Revenons à la solution générale, et rappelons en les rapportant à leurs causes les particularités essentielles des murs ondulés.

a. — Les ondulations ont pour résultat d'empêcher les glissements de la masse sur le sol et des lits les uns sur les autres;

b. — La disposition ensellée des lits rend uniformes les effets de soulèvement que la travée concave provoque en se gonflant;

c. — Les coupures séparatives des travées régularisent les gerçures qui se produiraient si la masse comprimée ne revenait pas à son volume originel.

Ainsi se résume le système. Comment a-t-il pris naissance?

Sans doute il s'est formé de proche en proche, par la simple observation des faits :

Un mur vient à glisser sur le sol; on songe à fixer la masse en faisant onduler les assises.

Les assises ondulées se soulèvent, on cherche un correctif;

Elles se gercent : nouvel expédient.

Quoi qu'il en soit, dès l'époque de la XVIII[e] dynastie, la méthode se montre pleinement constituée. L'enceinte de Karnak en est la plus complète application : elle remonte aux Toutmès.

LES VOUTES DE BRIQUE.

D'étroites galeries peuvent être couvertes par simple encorbellement : Dachour offre des exemples de cette solution.

Pour de larges portées, les Égyptiens durent recourir à la voûte ; et, comme leur pays fournit très peu de bois, ils se sont attachés à un système réalisable sans aucune charpente auxiliaire, sans aucun cintre.

BERCEAUX.

Le type courant est un berceau, terminé à chaque extrémité par un mur formant tête ; les matériaux sont des briques crues et du mortier de terre.

LA MÉTHODE DE CONSTRUCTION SANS CINTRAGE.

Il est aisé de construire dans le vide une semblable voûte : Il suffit de disposer les briques par tranches de champ, au lieu de les maçonner par assises rayonnantes.

La fig. 33 A indique la marche du travail :



Contre le mur de tête T ou plaque, on colle à l'aide de mortier une brique, puis une autre ; et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on ait constitué un arc a, qui sera une première tranche du berceau.

A cette première tranche on en soude une deuxième *a'* comme on a soudé la première au mur de tête :

La voûte va s'allongeant, se développant sur le vide.

Veut-on faciliter la pose : A l'aide d'une fourrure *f* on donne du pied aux tranches dont les briques ont, grâce à cet artifice, moins de tendance à se décoller. De l'arrangement A on passe à celui qu'indique la coupe B.

Ainsi procédèrent les constructeurs égyptiens dès les premiers âges de leur architecture : Les fouilles de Sakara ont révélé des voûtes de brique dont la date nous reporte au moins à la VIe dynastie.

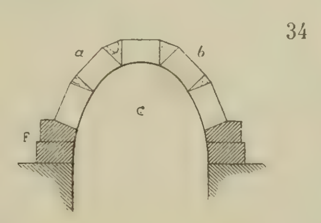
DÉTAILS D'APPLICATION.

CHOIX ET FORME DES BRIQUES.

La méthode sans cintrage exige que les matériaux d'une tranche puissent momentanément se maintenir en porte-à-faux par la seule adhérence des mortiers.

Cela suppose des matériaux légers et minces, des plaquettes :

Il est de règle d'employer pour les voûtes des briques moins épaisses que celles des murs.



34

D'ailleurs on prend rarement la peine de les mouler au gabarit : on se sert de briques rectangulaires, sauf à remplir les vides à l'aide de tessons ou de mortier (fig. 34).

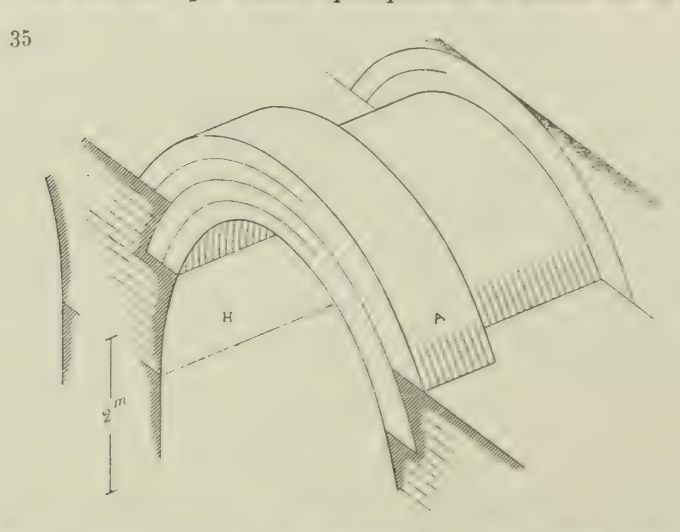
REINS EN TAS DE CHARGE.

Commencer la structure par tranches dès le niveau des naissances

serait une complication superflue, dont on s'est généralement affranchi :

Sur une hauteur qui atteint quelquefois la moitié de la montée

35

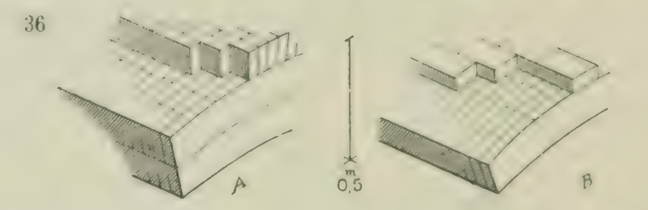


(fig. 35), la construction est en tas de charge, c'est-à-dire par lits horizontaux H s'avançant en surplomb.

ROULEAUX EMBOITÉS ; RAIDISSEURS.

Pour les voûtes qui exigent de fortes épaisseurs, on procède par rouleaux emboîtés les uns dans les autres (fig. 35, 36 ; pl. XI).

36



Seul le premier rouleau se construit dans le vide, seul il semble exiger la structure par tranches.

En réalité il y aurait imprudence à bâtir par voussoirs le berceau-enveloppe : Les joints y seraient plus multipliés, il serait plus compressible et remplirait mal son rôle de décharge.

Au Ramesséum (fig. 35) on ne s'est pas contenté de doubler le berceau : on l'a renforcé de distance en distance par des arcs A qui le raidissent.

Où existent ces raidisseurs le berceau tient; dans les intervalles il s'est effondré (pl. XI 2).

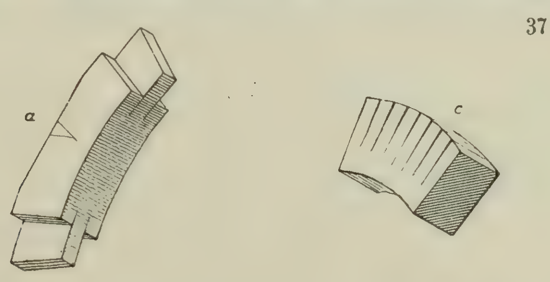
PROFILS.

a. — DEMI-CERCLE.

Une voûte à profil demi-circulaire ne prend son équilibre qu'en se déformant : Les reins se relèvent, le sommet s'abaisse.

Si le berceau est construit à lits rayonnants, comme nos voûtes ordinaires, ces déformations se traduiront simplement (fig. 37 *c*) par l'ouverture de quelques joints, les voussoirs resteront intacts.

37



Il en est tout autrement si le berceau est exécuté par tranches telles que *a* :

Les tranches accolées adhérant l'une à l'autre, la masse ne peut fléchir sans qu'un effort d'extension entre en jeu; et, comme la brique crue est incapable d'y résister, la voûte est exposée à des fractures :

Malgré ses inconvénients, la courbe demi-circulaire trouva quelques applications, notamment à Dachour.

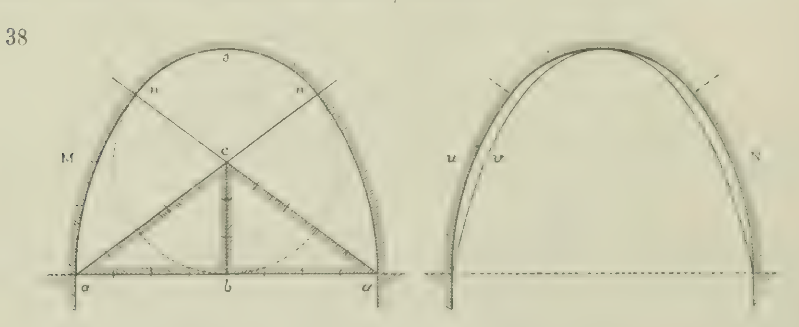
b. — ANSE DE PANIER SURHAUSSÉE.

Un seul profil permet d'échapper aux joints de rupture, c'est la chaînette :

Le profil usuel des berceaux par tranches se rapproche d'une façon remarquable de cette courbe théorique.

Il consiste (fig. 38 M) en une courbe surhaussée à trois centres, qui s'obtient au moyen de deux triangles *abc* dont les côtés sont entre eux comme les nombres 3, 4 et 5 :

38



Les points *a* donnent deux centres; le sommet commun *c* est le troisième.

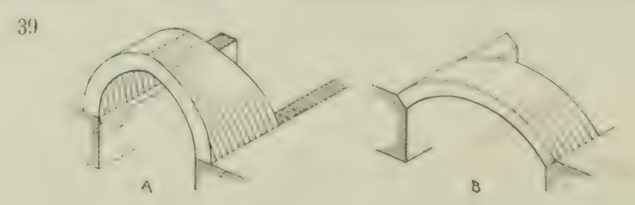
En N nous avons superposé les deux courbes : *v*, chaînette; *u*, anse de panier égyptienne.

L'écart de l'une à l'autre est insignifiant.

c. — OGIVE ET ARC DE CERCLE.

A défaut de la chaînette — ou de cette anse de panier surhaussée qui en est l'équivalent pratique — les deux profils où se développent les moindres efforts d'extension sont l'arc de cercle et l'ogive :

39



L'ogive se rencontre dans les plus anciennes tombes de Sakara; c'est (pl. XII 2) le profil d'un aqueduc en briques cuites de Médinet Abou qui présente une extrême analogie avec l'aqueduc assyrien de Khorsabad.

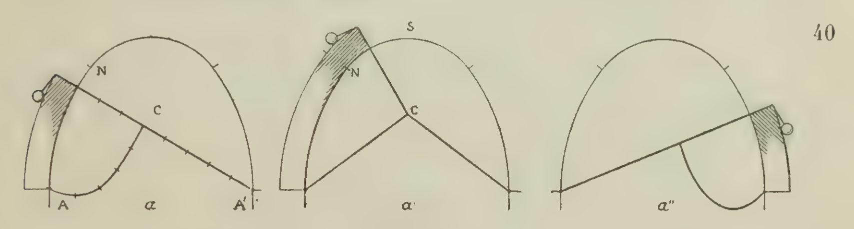
Quant à l'arc de cercle, nous le trouvons (pl. XIII 1) appliqué à Deïr el Médiné.

MODE DE DIRECTION DANS L'ESPACE.

Le tracé de ces courbes dans l'espace se fait très probablement à l'aide de fils directeurs, de simbleaux.

Pour un berceau à trois centres, il suffit d'un système de fils offrant la disposition fig. 40 :

40

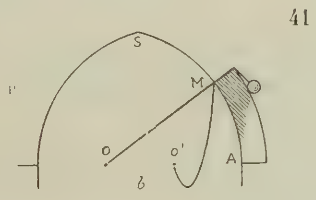


Pendant l'exécution de l'arc inférieur AN, le brin AC est libre, le brin A'C tendu;

L'arc supérieur NS s'obtient au moyen des trois brins tendus.

Pour une ogive, on emploiera (fig. 41) un simbleau à deux brins d'égale longueur OM, O'M :

41



Pendant la construction de l'arc AS, le brin O'M est lâche.

Ordinairement le simbleau se meut non dans un plan vertical, mais dans le plan même de la tranche : Quand la section droite paraît déroger à la définition pag. 46, on retrouve le profil théorique en mesurant la flèche suivant l'inclinaison des tranches (fig. 42 : Assasif).

Le fil directeur ne donne dans l'espace que des indications approximatives : aussi les profils manquent de régularité, à ce point qu'on rencontre dans un même groupe de voûtes (pl. XI) des courbes variant de l'arc surhaussé à une forme qui est presque l'ogive.

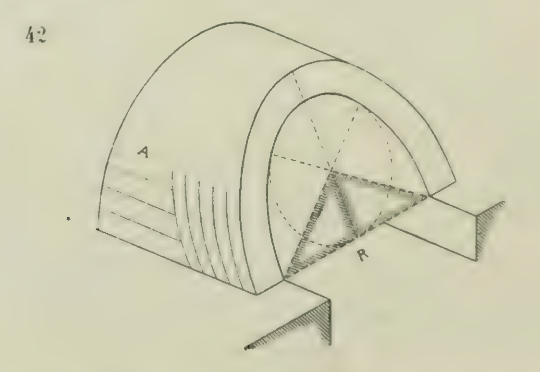
BERCEAUX EXÉCUTÉS SUR APPUIS TEMPORAIRES.

a. — VOUTES ISOLÉES (BAIES, ARCADES, ETC.).

Le mode de construction sans cintrage suppose (pag. 42) l'existence d'un mur-pignon servant d'amorce aux tranches.

Si ce mur de départ fait défaut, on recourt à l'expédient indiqué par la fig. suivante :

42



On établit, sur cintre et à lits rayonnants, un arc de tête A ;

Contre cet arc A on accole une première tranche, comme on l'accolerait contre un mur-pignon ;

Et l'on continue par tranches, sans autre cintrage.

Généralement l'arc de tête A se resserre vers le sommet. Il pèse à peine ; et le cintrage qu'il nécessite peut se réduire à une cerce de bois flexible : ferme rudimentaire dont la tradition s'est conservée.

b. — VOUTES SUR FORME EN TERRE.

Lorsqu'il s'agit de voûter une salle souterraine, un moule naturel existe, c'est la terre même de la fouille :

Que cette terre soit réglée suivant le profil, elle tiendra lieu de cintre; et, n'ayant plus à maçonner dans le vide, on n'aura nulle raison de se soumettre au procédé par tranches.

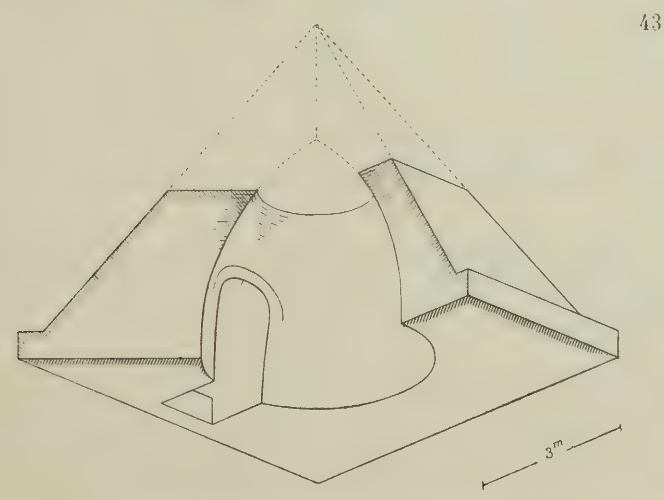
COUPOLES.

PROFIL ET MODE D'EXÉCUTION.

Avec les coupoles nous rentrons dans le domaine de la construction sans cintrage.

La fig. 43 montre un type de dôme appliqué dans les tombes d'Abydos et de Deïr el Bahri.

43



Le profil est en ogive, et les lits sont horizontaux :

La voûte se compose d'anneaux dont le diamètre va diminuant de la naissance au sommet.

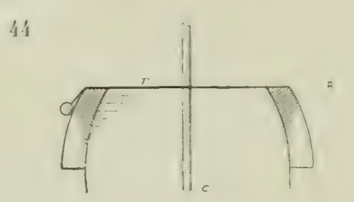
Chaque anneau surplombe à peine sur celui qui le porte et, par suite, n'exige aucun appui :

La masse ne pourrait s'affaisser que par le resserrement des anneaux; sans cintre elle est stable à un instant quelconque de son exécution.

Le tracé dans l'espace n'offre d'ailleurs aucune difficulté :

On se guide (fig. 44) par un jeu de simbleaux analogue à celui qui servait pour les berceaux :

44



Un fil *r* tournant autour d'une perche.

RUDIMENTS DE PENDENTIFS.

Les Égyptiens ont-ils adapté la coupôle au plan carré : en d'autres termes ont-ils connu le pendentif ? Nous n'en connaissons aucun exemple authentique.

Du moins savaient-ils, par des procédés de pigeonnage, jeter sur des salles carrées des dômes minces en terre mêlée de menues pailles.

Des peintures indiquent nettement ces dômes rudimentaires : ils se pratiquent aujourd'hui dans les huttes du Delta : et, comme autrefois, la voûte est couronnée d'un lanterneau par où s'échappe la fumée du foyer. La tradition n'a point varié.

LES VOUTES EN BRIQUE HORS DE L'EGYPTE.

Ainsi que les constructeurs de l'Égyte, ceux de la Chaldée ont employé la voûte parce qu'ils n'avaient point de bois (διὰ ἀξυλίαν : Strab. XVI 3); la voûte sans cintrage se rencontre dans leurs plus anciens monuments.

Est-ce en Égypte, est-ce en Chaldée que le système prit naissance ? l'hésitation semble permise.

A défaut de données sur les origines bornons-nous à constater la succession chronologique des types et leur répartition entre les principales contrées du vieux monde.

En Égypte nous n'apercevons que le berceau par tranches et le dôme à lits horizontaux.

Les voûtes chaldéennes qui nous sont parvenues sont des berceaux exécutés généralement par tranches : quelquefois très surhaussés et construits par encorbellement progressif.

L'Assyrie n'ajoute rien au legs de la Chaldée.

Une analogie qui ne saurait être fortuite rapproche les dômes égyptiens des dômes préhelléniques :

Même profil en arc brisé, même disposition des matériaux par assises annulaires.

Les Égyptiens d'Abydos font usage de brique ; les Achéens de Mycènes et d'Orchomène emploient la pierre.

C'est en Perse, et probablement à l'époque achéménide, que se constitue la coupole à lits coniques.

À la Perse appartient aussi le pendentif, que l'Égypte entrevoyait à peine.

Quant à la voûte d'arête, elle est de toutes la plus récente : et les procédés qui permettent de l'exécuter sans cintres paraissent propres à cette école asiatique de l'art romain d'où l'architecture byzantine est issue.

CONSTRUCTIONS DE PIERRE.

Les constructions de pierre sont pour la plupart des œuvres de pur apparat : Leur histoire sera celle d'un continuel effort tendant à concilier l'ampleur des programmes avec la simplicité des moyens.

Mais avant tout passons en revue les pratiques qui constituaient les métiers du carrier, du tailleur de pierre et du maçon.

LES MATÉRIAUX ET LE MODE GÉNÉRAL D'EMPLOI.

Les matériaux de la basse Égypte sont des calcaires et quelques grès du Mokatam ;

A l'amont de Dendéra la plupart des temples ont été bâtis en grès de Silsilé.

Le granit, dont l'usage est d'ailleurs fort restreint, provient de coulées formant le seuil de la première cataracte.

Les carrières de Silsilé, qui ont fourni les matériaux de Karnak, sont situées à 150 kilomètres du lieu d'emploi :

Bien d'autres gisements eussent été plus voisins. La facilité des transports sur le Nil permettait de peu tenir compte de la distance, et de se régler presque exclusivement sur la résistance des pierres et la facilité de mise en œuvre.

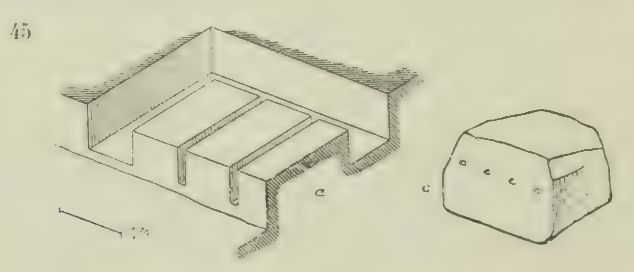
EXTRACTION.

Le granit se débite en pratiquant dans les blocs, souvent épars

à fleur du sol (fig. 45 c; pl. XXIV), des entailles où l'on enfonce des coins de bronze chassés de vive force, ou bien des coins de bois qu'on fait gonfler en les arrosant.

Les carrières de calcaire ou de grès (fig. 45 a) s'exploitent soit en galerie soit à ciel ouvert :

45



On creuse une tranchée au pourtour du bloc, puis on le détache en agissant à l'aide de leviers ou de coins.

TAILLE ET POSE.

A une époque où les outils étaient de bronze, la taille des pierres offrait de sérieuses difficultés; on s'attachait à la simplifier.

On acceptait, moyennant de légères retouches, la forme que l'éclatement en carrière avait donnée; et, lors de la pose, on cherchait des combinaisons où les pierres, telles quelles, pussent trouver place. C'est le principe de la construction polygonale, appliqué à des roches stratifiées.

Cet appareil irrégulier fut employé surtout sous les Ramsès, alors que la grandeur des entreprises forçait à transiger avec la correction :

L'échantillonnage ne devient uniforme qu'au temps de l'outillage de fer.

TAILLE D'ÉBAUCHE; DÉRASEMENT DES LITS.

La face inférieure des blocs est seule taillée d'une manière définitive sur le chantier : le parement ainsi que la face supérieure restent à l'état d'ébauche; et, au moment de mettre une assise en place, on dérase sur tas les pierres de l'assise précédente.

Entre autres indices de cette pratique, nous citerons le soubassement de Philé (pl. I) où le dernier lit est demeuré incomplètement réglé.

L'usage de tailler les lits sur tas est d'ailleurs fort répandu dans l'antiquité : il a laissé sa trace dans l'art grec et dans les plus anciens monuments de la Perse.

PRÉSENCE ET ROLE DU MORTIER.

Très souvent on se contente de poser les pierres sans mortier : à joints vifs. Procédé plus simple qu'économique, exigeant un dressage parfait des surfaces.

On supplée aux incorrections de la taille en comblant les interstices à l'aide de mortier.

Il est douteux que les Égyptiens aient employé le mortier en vue de transmettre et régulariser les charges :

Dans les constructions soignées, telles que les parements du temple du Sphinx ou ceux des galeries de la grande Pyramide, ils ne l'ont point admis. C'est une garniture, sans autre objet que de faciliter le travail.

ATTACHES ARTIFICIELLES.

Pour achever d'assurer la solidarité des blocs, on recourt à des queues d'aronde, généralement en bois.

Au pied d'un des obélisques de Luxor une queue d'aronde consolidait le granit fissuré.

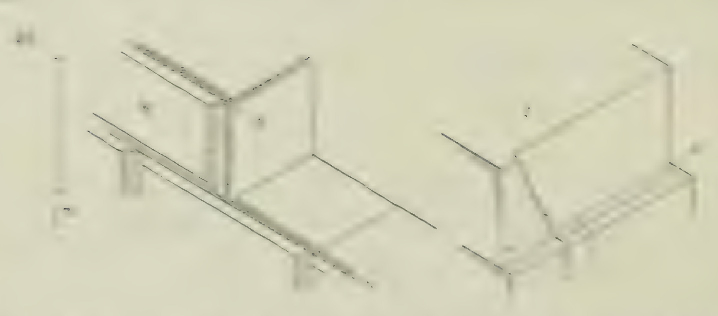
A Karnak, à Edfou (pl. XIX 2), des attaches de ce genre reliaient les pierres bout à bout, empêchant les déplacements qui les auraient pu disjoindre.

RAVALEMENTS.

Indices du procédé. — Les pierres, posées à parement brut, étaient ravalées après coup; et cette opération de retaille se trahit par de fréquents désaccords entre l'appareil et la forme :

Tel chapiteau (pl. XVI 1) a sa naissance à côté du plan du lit qui eût dû la marquer.

Dans les parements de murs (fig. 48 C), semblables incorrections.



Marche du travail. — La pl. XIX 1 montre un mur de Louxor où le travail est resté interrompu.

On reconnaît que le ravalement se commençait par le haut : c'était le seul moyen de préserver les degrés que la chute des éclats eût entraînés dans les parties basses si la marche inverse avait été suivie.

Repères. — Pour guider les tailleurs de pierre on avait soin, alors que la surface des lits était encore à nu, d'y tracer des traits de repère (fig. 48 M) :

On tendait un cordeau sur lignes directrices X ; et quelquefois les blocs épannelés M présentaient des chanfreins qui s'alignaient suivant X.

A une colonne inachevée de Karnak, les chanfreins destinés à marquer les sections horizontales des tambours donnent aux pierres d'ébauche l'aspect de cônes renversés (pl. XV 1, fig. 54 A, page 65).

Que l'on remplace ces amorces en chanfrein par des amorces en rainure, et l'on aura le procédé courant des Grecs.

LES RAVALEMENTS SCULPTÉS

Les façades sont généralement des fonds sur lesquels se déve-

loppent des scènes figurées ou des textes hiéroglyphiques. Les lignes de lits et de joints auraient malencontreusement coupé ce décor : on les efface en revêtant le parement d'un enduit peint, qui au besoin voile les incorrections de l'appareil.

DÉTAILS DE L'OUTILLAGE; COMPOSITION DES MORTIERS.

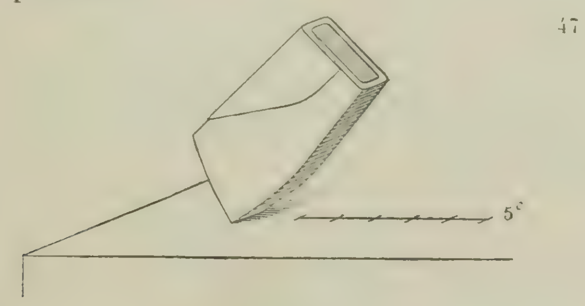
Nous avons laissé dans le vague la nature des mortiers et les particularités de l'outillage : il importe de combler cette double lacune.

MOYENS D'ATTAQUE DES PIERRES.

Le fer, dont M. Maspero a rencontré des vestiges dans les plus anciennes pyramides, fut longtemps un métal précieux : il ne paraît entrer dans l'usage courant que sous les dynasties saïtes.

Ciseau de bronze. — Jusque-là on travaillait les grès et les calcaires à l'aide d'un ciseau de bronze dont le taillant, empreint sur les blocs (pl. XVI), était à très peu près celui de nos ciseaux d'acier.

Bédane bi-métallique. — Pour les matériaux plus durs, un ciseau à tranchant plus étroit (fig. 47) concentrait sur un moindre champ l'effet de la percussion.



47

Ce ciseau, dont nous devons l'analyse à l'obligeance de M. Albert Colson, présente une constitution bi-métallique : Un noyau de bronze à 13 pour cent d'étain; une enveloppe en bronze à 4,67, c'est-à-dire en cuivre presque pur.

Sans cette enveloppe molle, le bronze eût été cassant : l'épiderme de cuivre amortit les trépidations, et empêche le taillant de se rompre.

L'épaisseur de l'âme de bronze est environ 4 millimètres; celle de la gaine de cuivre, 1 millimètre.

Comme fabrication, il est probable qu'on enroulait la feuille protectrice autour du noyau, et que les matières étaient soudées ensemble par martelage à chaud dans un creux.

Au point de vue du mode d'emploi, l'outil répond à notre bédane. Son tranchant étroit rend possibles les refouillements à angles rentrants; et comme ces angles vifs existent dans le granit, peut-être sommes-nous en présence de l'instrument qui permit de l'entamer, au moins au sortir de la carrière.

Rodage. — D'ailleurs le foret était connu (pag. 4) : On pouvait dégrossir le bloc au moyen d'un foret au sable; et le rôle du ciseau se réduisait à régulariser les formes.

Quant au poli, il s'obtenait par frottement, à l'aide de galets et de sable siliceux.

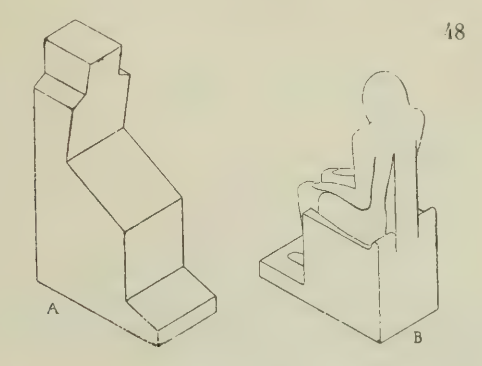
Martelage. — M. Soldi, dont l'opinion s'appuie sur une indiscutable expérience, admet que le procédé usuel d'ébauche était l'emploi de la pointe qui éclate le granit, et de la marteline qui efface les aspérités.

Sciage au sable. — Enfin un mode d'attaque qui paraît appliqué dès les plus anciennes époques, est l'emploi de la scie au sable :

Une lame de métal, frottant sur des grains de quartz arrosés d'eau, suffit pour débiter les matériaux les plus durs.

Par simple abatage, l'ébauche des colosses assis eût exigé un travail énorme : le découpage au sable lève la difficulté.

Il donne de larges plans de débillardement : Ce sont ces plans de



sciage dont la présence ou tout au moins le souvenir semble expliquer (fig. 48) les faces d'épannelage des statues.

COMPOSITION ET MISE EN ŒUVRE DES MORTIERS.

Nous ne connaissons aucun exemple du mortier de chaux et sable : Les Égyptiens employaient le plâtre, additionné d'une quantité de sable qui varie entre le quart et le quadruple de son volume.

Le sable est ordinairement terreux.

Le plâtre provient de carrières où il se trouve mêlé de pierre à chaux : il est très impur, et assez mal cuit. Comme le combustible était cher, on tâchait de l'épargner.

Dans bien des cas, des cristaux de gypse ont résisté au feu. A plus forte raison les parcelles de pierre à chaux durent échapper à la cuisson : Elles n'ont pas fourni de chaux, mais se sont incorporées à la masse, au même titre que le sable.

On peut donc considérer la matière active comme étant exclusivement du plâtre.

Le plâtre fait prise presque instantanément ; il fallait opérer le gâchage sur place au fur et à mesure des besoins, et hâter la mise en œuvre : peut-être procéder par coulage.

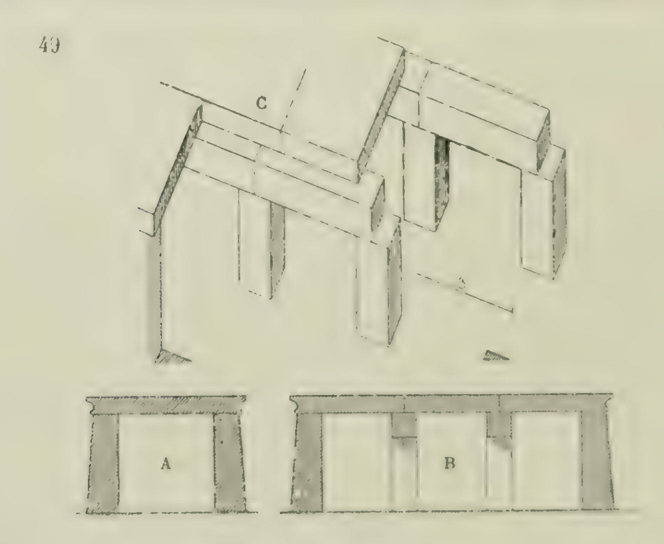
Aux pyramides de Gizé le mortier garnit assez mal les vides :

Sans nul doute il fut coulé, après la pose des pierres, dans les interstices qu'elles laissaient entre elles.

En général le mode d'emploi est aussi négligé que la fabrication : Les Égyptiens ne voyaient dans le mortier qu'un remplissage : ils le traitaient comme tel.

LA STRUCTURE DES ÉDIFICES.

La fig. 49 résume les dispositions d'un édifice appareillé :



Si l'espace à couvrir est assez restreint pour être franchi d'une seule volée par des dalles plafonnantes, la construction se réduit à ces dalles et à leurs pieds-droits ;

Si l'espace est plus grand, on le fractionne par travées au moyen de files de piliers portant des poutres de pierre ou architraves, sur lesquelles repose le plafond.

A ce type se ramènent le portique, qui est une galerie ouverte sur une de ses faces ; et la salle hypostyle, qui est un portique à multiples travées.

Les éléments se réduisent donc à trois : Le mur; Les piles et leurs architraves; Les dalles plafonnantes.

ASSIETTE SUR LE SOL.

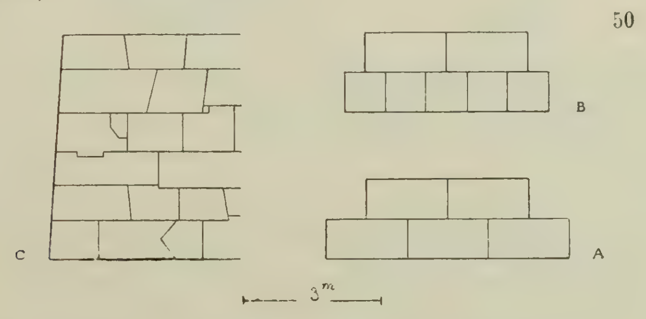
A peine peut-on citer, sous les parois du temple de Luxor, quelques substructions de libages; sous les files de piliers du Ramesséum, un radier de briques crues; sous les colonnes de Karnak, de petits massifs de moellons, d'ailleurs négligemment posés, et qui laissent en porte-à-faux une partie de la charge :

D'une manière générale les constructions de pierre reposent directement sur le sol pilonné, tout comme les constructions de brique.

MURS.

TYPE NORMAL; IRRÉGULARITÉS D'APPLICATION.

L'appareil répond autant que possible aux types indiqués en A et B (fig. 50) :



A. Assises où toutes les pierres forment carreaux;

B. Assises de carreaux alternant avec des assises de boutisses.

Au pied des murs, quelquefois un empattement tel que *d* (fig. 52, pag. 63 : Médinet Abou);

Aux retours d'angle, jamais de blocs taillés en crossettes : le simple agencement dit à besace.

Telles sont les dispositions théoriques : Nous avons indiqué

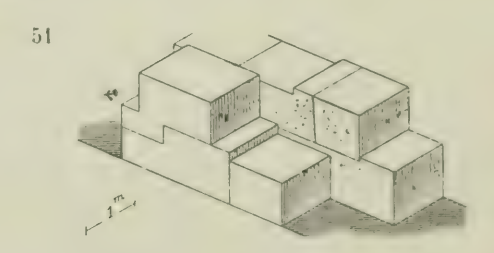
(pag. 54) les difficultés d'outillage qui très souvent forcèrent d'y déroger. Le fragment C fig. 50 (Médinet Abou) donne un exemple de ces licences : décrochements, joints obliques, fourrures.

APPAREIL DÉLIAISONNÉ.

Liaisonner l'un avec l'autre deux parements d'appareil irrégulier serait un travail d'ajustage fort complexe :

Les Égyptiens reculent devant cette sujétion ; la liaison, la découpe transversale n'existe que très exceptionnellement : En règle générale le mur se compose (fig. 51) de deux demi-murs distincts et indépendants.

51



Tantôt les deux demi-murs sont adossés directement l'un à l'autre, tantôt un intervalle les sépare :

De là deux variétés *a* et *a'*, que la fig. 52 met en regard.

a. Demi-murs directement adossés. — Le massif *a* est pour ainsi dire refendu suivant son axe ; et l'on ne pourrait donner du fruit aux parements sans démaigrir outre mesure les pierres des dernières assises :

Le talus est nul ou à peine sensible, et la stabilité imparfaite.

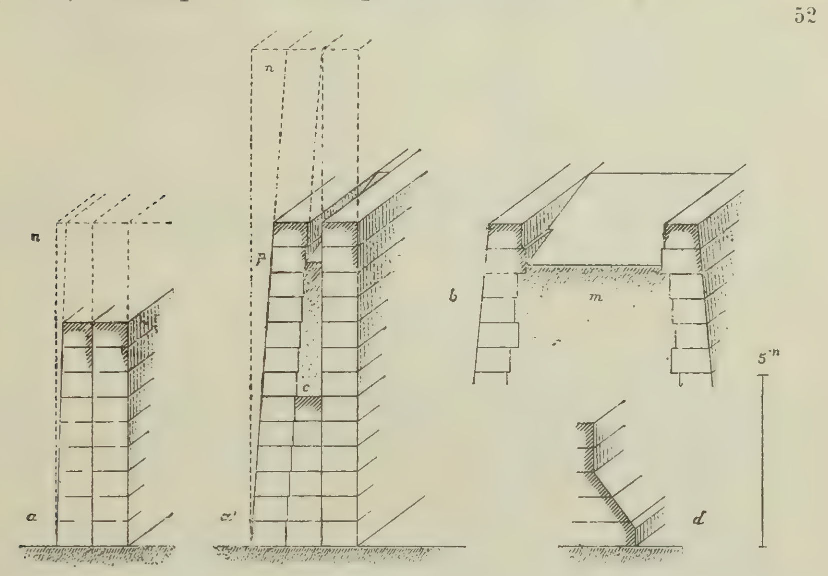
b. Demi-murs séparés par une fourrure. — En *a'*, le noyau du mur est de libages ou de pierrailles, quelquefois de gros sable.

Le parement intérieur monte droit ; et le parement extérieur *p*, appuyé contre la fourrure, s'élève sous une inclinaison qui atteint quelquefois $\frac{1}{10}$.

On obtient ainsi un empattement plus large, et plus de rigidité :

Sur un sol glissant le mur *a'* gardera son alignement et son aplomb, tandis que *a* serait exposé à les perdre.

52



Cas d'application. — Le type *a'* (Luxor) est généralement appliqué aux salles et aux portiques des temples ; *a* aux clôtures qui les entourent.

L'étroitesse des chemins de ronde montre qu'au pourtour des temples l'espace était à ménager. Le profil *a* réduisait au minimum la largeur d'emprise : là est sans doute la raison qui le fit accepter.

C'est seulement à l'époque ptolémaïque que l'appareil liaisonné tend à prévaloir, à la faveur des facilités d'échantillonnage que procure l'emploi d'outils de fer.

PYLONES.

Le mode de construction à noyau de pierrailles est celui des pylônes contemporains des murs *a'*.

La seule différence est que, dans les pylônes (coupe *b*), les deux parements sont en pente.

Le noyau sableux qui remplit l'intervalle joue un rôle essentiel. Qu'une brèche donne issue au sable, les parements porteront à faux.

Ainsi ont péri la plupart des pylônes de Thèbes : La photographie pl. XXI 2 montre l'aspect d'un de ces édifices, où la disparition du noyau a laissé, en surplomb sur le vide, des parements qui commencent à gauchir et dont la ruine est imminente.

Les pylônes à structure d'appareil avec chambres d'évidement datent des mêmes époques que les murs liaisonnés, et procèdent des mêmes influences (Edfou).

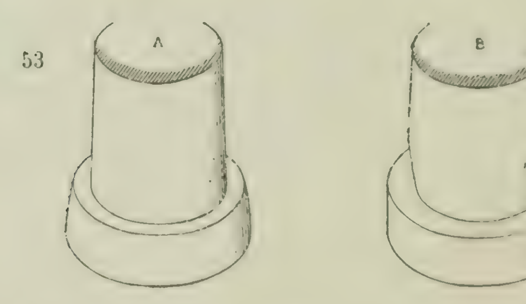
COLONNES.

La colonne est rarement monolithe ; elle se compose (pl. XX 1) de tambours qui eux-mêmes peuvent être fractionnés en secteurs par des joints rayonnants.

Le fût, légèrement conique, s'appuie sur le sol par l'intermédiaire d'un large disque qui forme base et répartit les charges.

Ce fût présente presque toujours un étranglement au départ (fig. 53 B).

53



Faut-il voir dans cet étranglement une pure concession à un symbolisme décoratif ?

Quelle qu'en soit l'origine, il se concilie fort bien avec les convenances de la stabilité :

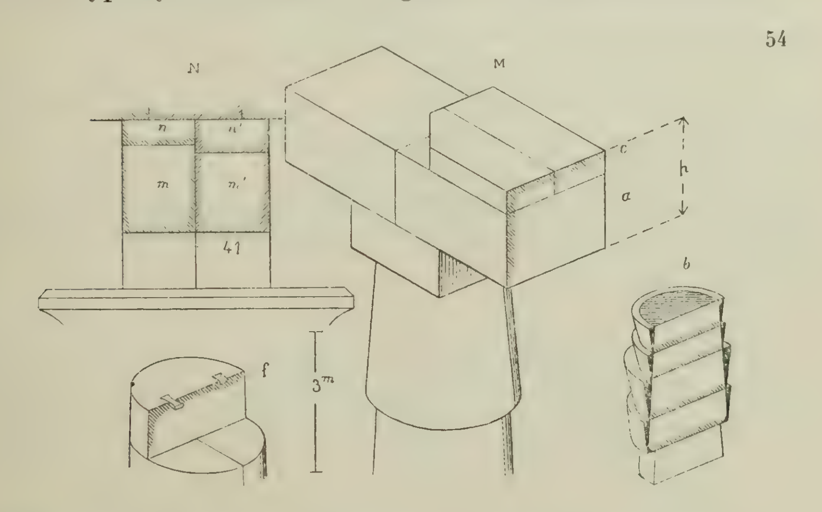
Si la colonne était exactement un cône (A), un effort oblique ferait presser le disque vers les rives, et risquerait d'entraîner le déversement du fût ;

Avec une colonne à fût étranglé, le disque de base se trouve chargé plus près du centre, la pression se répartit d'une manière plus égale, et l'aplomb est mieux assuré.

ARCHITRAVES.

La fig. 54 et la pl. XVIII montrent l'appareil des architraves de la salle hypostyle de Karnak : N, grande nef; M, nefs latérales.

54



Un monolithe présentant la section N pèserait cent tonnes :

On le fractionne en deux poutres jumelles *m*, *m'*.

Et ces poutres jumelles sont fort loin d'offrir des hauteurs uniformes :

On compense les inégalités par des fourrures telles que *n*, *n'*.

Les architraves M, beaucoup moins grosses que celles de la grande nef, sont monolithes.

Mais, ici encore, l'uniformité de hauteur n'est qu'approximative :

Des fourrures *c* rachètent les écarts.

Et, grâce à cet artifice, on évite un dérasement qui ôterait aux poutres une partie de leur force.

Les portées des architraves ne sont pas toutes égales :
On réserve pour les travées les plus larges les blocs les plus épais.

A la rencontre de deux colonnades, les blocs d'architraves sont assemblés d'onglet (pl. XX 1).

PLAFONDS.

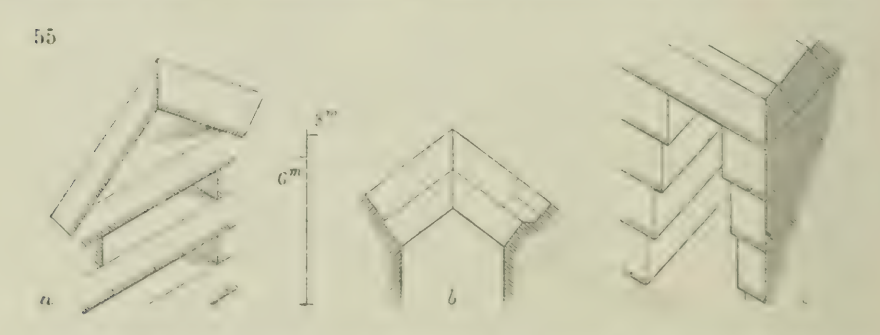
Plafonds horizontaux. — Les plafonds des salles hypostyles et des portiques consistent simplement en dalles juxtaposées.

Pour rendre étanches les terrasses on pratique, suivant les joints (pl. XX 2), des rainures où l'on scelle des baguettes de pierre.

Lorsqu'une galerie se coude, le raccord des plafonds se fait à l'aide de dalles dont les joints divergent en éventail (Philé, petit temple d'Isis).

Plafonds à décharges; plafonds rampants. — Les plafonds des temples ne portent que leur propre poids; ceux des corridors ou des salles des pyramides sont chargés d'un poids de maçonnerie :

55



On les protège (fig. 55) à l'aide de dalles arc-boutées faisant décharge.

Même protection aux plafonds sous remblais de Deïr el Bahri.

La pyramide de Chéops présente, au-dessus de la salle sépulcrale (a), un espace vide coupé par quatre planchers de pierre et surmonté d'une décharge :

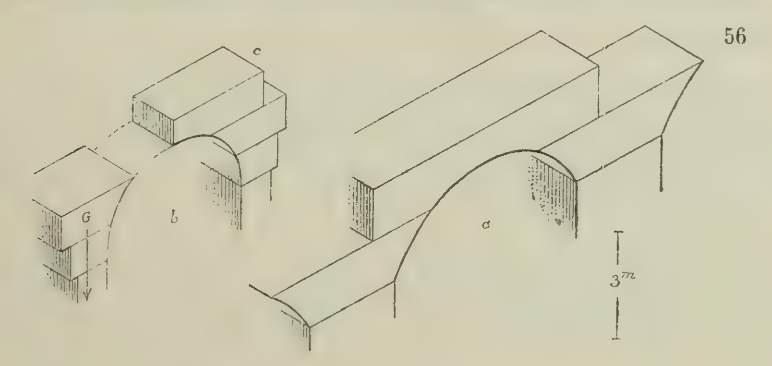
La chambre ne peut être atteinte qu'après la rupture de la décharge et l'écrasement des quatre planchers.

A la principale galerie (c), la portée des dalles est réduite par un système d'encorbellement;

Et, comme la galerie est rampante, on eut soin d'accrocher pour ainsi dire le plafond aux pieds-droits :

Les dalles s'enclavent à dents de scie, de telle sorte qu'elles ne puissent glisser.

Plafonds courbes. — L'appareil indiqué fig. 56 permet de couvrir sans appuis intermédiaires un espace trop large pour une dalle unique.



Le principe est le même qu'à la grande galerie de Chéops : l'encorbellement progressif.

Et le surplomb est réglé de telle sorte que, à un instant quelconque de sa construction, la masse soit équilibrée et capable de se soutenir dans l'espace : Toujours le centre de gravité porte ; une charpente d'appui serait superflue.

D'ordinaire on adopte un profil de ravalement courbe, qui a l'aspect d'une voûte :

En amincissant les parties qui surplombent, on assure l'équilibre sans presque rien ôter à la résistance.

Ainsi se présentent les plafonds des sept chapelles d'Abydos (pl. XIII 2), et de plusieurs galeries à Deïr el Bahri.

VOUTES CLAVÉES.

Les dalles arc-boutées qui font décharge au-dessus des chambres et des corridors des pyramides (pag. 66) sont peut-être les plus anciennes combinaisons où la poussée entre en jeu.

Les voûtes de moellon apparaissent à Sakara vers la VIe dynastie.

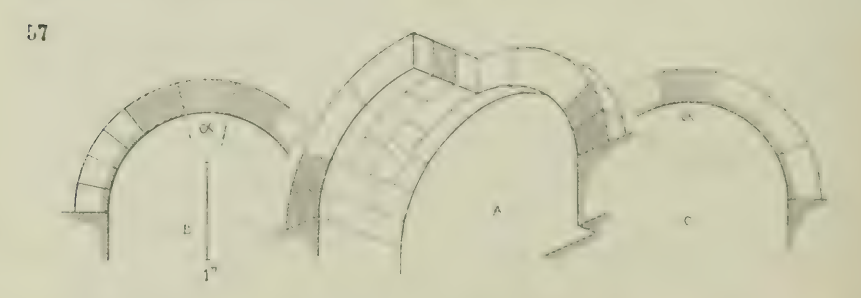
Dès qu'on emploie des matériaux épais et lourds, on ne peut songer aux artifices d'adhérence qui rendraient possible la construction sans cintrage (pag. 42) :

Toutes les voûtes de moellon sont bâties sur cintres, et à lits rayonnants.

Rarement les voussoirs sont taillés au gabarit : les joints s'élargissent vers l'extrados; on les remplit par des éclats de pierre. C'est de tout point le procédé que nous avons décrit à propos des constructions de brique.

Pour rencontrer des voûtes d'appareil régulier, il faut descendre à la XXVIe dynastie.

57



Les exemples fig. 57 proviennent de chapelles annexées au temple de Médinet Abou :

La voûte A présente une particularité qui se retrouve à l'époque romaine dans les ponts du midi des Gaules : Elle est formée d'arceaux juxtaposés sans liaison; de sorte qu'une même ferme de cintre peut servir successivement pour chacun des arceaux accolés.

Dans l'exemple B, les voussoirs formant clef sont doubles de ceux des reins :

Le constructeur, envisageant les voussoirs supérieurs comme des coins qui tendent à descendre sous leur poids, aura tenu sans doute à prévenir le glissement en ouvrant le plus possible l'angle α de ces coins suspendus.

D'ailleurs, en fait de voûtes de pierre, les Égyptiens n'ont pratiqué que le berceau. Une calotte sur pendentifs d'appareil existe à Philé, mais elle fait partie d'un monument romain; et l'analogie de structure qui la rapproche des dômes de Djérach fait présumer une origine syrienne.

SALLES HYPOSTYLES.

Les salles hypostyles (pag. 60) nous ramènent au système de la construction par plates-bandes.

Voici comment on peut se rendre compte de leur stabilité :

Les parois sont à très fort talus; la salle se trouve donc entourée d'une ceinture rigide :

Cette ceinture rend invariable le pourtour du plafond.

Les colonnes, lestées par les dalles de plafond, ne sauraient bouger du haut; elles sont bridées en leur sommet, et ne peuvent que se déverser obliquement, ou glisser :

Comme garantie contre le dévers (pag. 64), on a sous chaque fût un empattement en forme de large disque qui n'est pressé que vers le centre.

Le pied d'une colonne tend-il à se dérober sur le sol? Un carrelage, dont les dalles épaisses coincent entre les bases, met cette

colonne dans l'impossibilité de glisser sans entraîner toutes les autres :

La fixité est assurée autant qu'elle peut l'être.

PORTIQUES.

On analyserait de même l'équilibre des portiques.

Ceux de la cour intérieure de Médinet Abou ont subi une déformation qui confirme l'utilité du carrelage :

Les colonnes ont marché, leur alignement a fléchi.

Que l'aire centrale ait été trop tardivement carrelée, ce déplacement s'explique de lui-même.

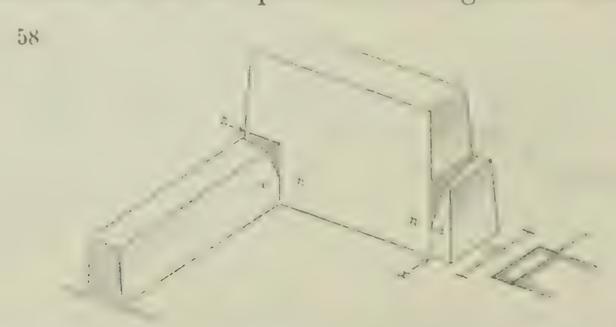
Le désordre était accompli avant l'exécution de la cour d'entrée. Cette fois sans doute l'aire centrale fut dallée à temps, et les piliers ont gardé leur alignement.

PRÉCAUTIONS CONTRE LES EFFETS DE TASSEMENT.

Sur le fond terreux des alluvions du Nil, on peut craindre que des charges inégalement réparties n'amènent des tassements inégaux et par suite des ruptures.

Au IIe siècle avant notre ère, Philon de Byzance conseillait d'éviter toute liaison entre deux pans de mur inégalement chargés.

58



Ce précepte était en pratique dans l'architecture égyptienne.

Un pylône (fig. 58) est plus élevé et plus lourd que les constructions adjacentes :

Jamais il ne se relie avec elles; une coupure *z* sépare le pylône du portique, et permet à chacun de tasser individuellement.

Le corps du pylône est plus lourd que la partie *a* formant le jambage de la porte :

Entre le jambage et le corps du pylône, nouvelle coupure *x* :

On peut dire qu'il est de principe de laisser indépendants les uns des autres les membres qui pèsent inégalement sur le sol.

Cette attention est manifeste à la grande cour de Karnak (pl. XIV).

A Luxor, dans les travaux si négligés de Ramsès II, elle fut omise : Des lézardes se sont produites en *x*, où la coupure aurait dû être.

L'ÉPARGNE DE MATÉRIAUX.

Les Égyptiens ont-ils prodigué la matière, ont-ils dépensé dans leurs temples plus de pierre qu'il ne fallait pour assurer la stabilité ?

RÉSISTANCES.

Prenons comme exemple la grande nef de la salle hypostyle de Karnak.

Si l'on calcule la tension qui se développe dans les dalles de plafond, on trouve un chiffre supérieur à 4^k par centimètre carré.

Dans les architraves, la tension atteint 5^k :

Il eût été téméraire de faire travailler davantage des poutres de grès à structure grenue.

Quant aux colonnes, leur diamètre moyen est $\frac{1}{6}$ de leur hauteur : à peu près la proportion du Parthénon.

Ces chiffres, loin d'accuser une prudence qui exagère les dimensions, témoignent au contraire d'une hardiesse comparable à celle des Grecs.

Si nous bâtissions suivant le système égyptien, c'est-à-dire par piliers et plates-bandes, nous-mêmes n'oserions guère réduire la masse de matériaux qu'ont employée les architectes des Ramsès :

Étant admis l'espacement d'axe en axe des colonnes, il fallait accepter l'énormité des architraves;

La hauteur étant donnée, le diamètre des fûts ne pouvait être réduit.

ÉCONOMIES D'APPAREIL.

Par raison d'économie les architraves sont scindées (pag. 65, fig. 54 N);

Pour les fûts et les chapiteaux, on se contente de blocs tout à fait comparables à nos pierres de grand appareil :

La hauteur d'assise n'excède pas 3 pieds; et les tambours se fractionnent par secteurs d'une extraction facile et d'un maniement commode.

ARTIFICES TENDANT A ÉVITER LES DÉCHETS.

Au temple du Sphinx, la portée des architraves varie d'une travée à l'autre;

A la salle hypostyle de Karnak, la largeur des travées va diminuant à mesure qu'on s'éloigne de l'axe.

Assurément, pour des édifices de cette importance, l'architecte eût pris soin de piqueter sur le sol des centres de piliers uniformément espacés.

Les travées inégales de Karnak et du temple du Sphinx s'expliquent comme l'inégalité des colosses de Ramesséum ou des obélisques de Luxor :

Des blocs d'architraves ou des dalles de plafonds ne se trouvent pas couramment en carrière : On les prend comme la carrière les donne; on les classe par longueurs, et l'on fait varier en conséquence l'espacement des appuis.

Ici la recherche d'économie est poussée jusqu'au sacrifice de la régularité.

PROCÉDÉS DE TRANSPORT ET DE MONTAGE.

Toutes les manœuvres de chantier qui peuvent s'exécuter sans engins, les déplacements de terres, le montage des briques se font à bras d'hommes (indications des peintures).

Pour les pierres, le mode de transport est la traction pure et simple; ou bien un procédé par glissement, plus élémentaire encore.

Les instruments de levage se réduisent à deux :

Le levier; et un appareil que nous décrirons sous le nom d'ascenseur oscillant.

L'ascenseur oscillant est une découverte encore inédite de M. Georges Legrain : Nous ne saurions assez remercier le savant Inspecteur de Karnak de nous l'avoir fait connaître.

TRANSPORT DES PIERRES A PIED D'ŒUVRE.

a. — TRANSPORT PAR LEVIERS ET GLACIS.

La traction suppose des câbles. Le procédé par glissement n'exige que des leviers.

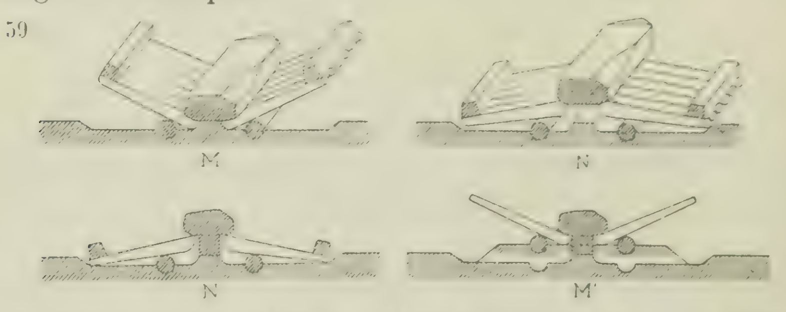
La manœuvre comporte deux opérations distinctes : Soulever le

bloc, et le faire glisser. Les figures 59 et 60 montrent comment ces deux opérations peuvent s'effectuer.

SOULÈVEMENT.

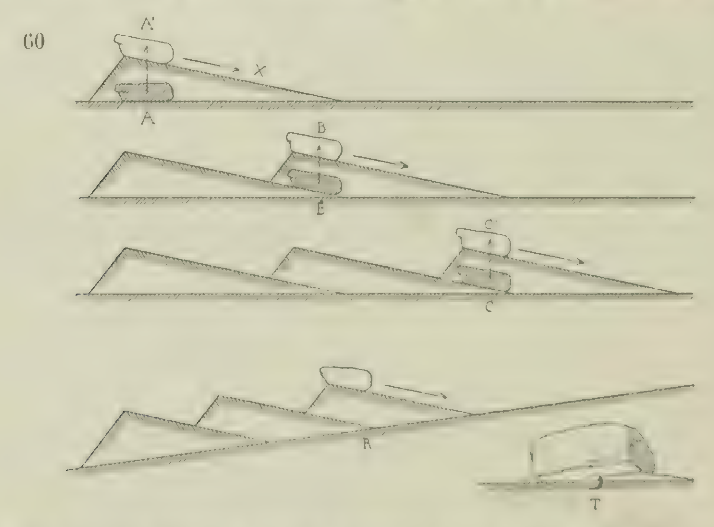
Si lourd que soit le bloc, rien de plus aisé que de le soulever en lui appliquant sur toute sa longueur (fig. 59 M) une série de leviers chargés de contrepoids :

59



En admettant, pour fixer les idées, que l'effort se trouve quintuplé, un calcul très simple montre qu'à l'aide d'un peu de lest posé

60



sur des leviers gros à peine comme nos solives de planchers, on remuera les blocs les plus énormes.

CHEMINEMENT EN LIGNE DROITE

Voici la pierre en bascule sur les leviers (position N) :

Bourrons de la terre sous sa face inférieure, puis relevons les points d'appui des leviers : Nouvelle ascension. A mesure que la pierre monte, le massif qui la porte se rehausse.

Prolongeons ce massif (fig. 60) suivant une surface inclinée, une chaussée en pente X : la pierre glissera par son poids le long de cette chaussée.

Nous sommes arrivés à la position B : Recommençons, nous ferons marcher la pierre pour ainsi dire par échelons. S'il le faut, le cheminement se fait au rebours de l'inclinaison naturelle du sol (R).

CHANGEMENTS DE DIRECTION.

Veut-on changer la direction de la marche, il suffira d'un galet T comme pivot de rotation :

Ainsi, par translations et rotations, on amènera le bloc à l'emplacement qu'on lui destine.

---

b. — TRANSPORT PAR TRACTION.

Dans le système par traction, les câbles peuvent agir directement sur le bloc, qui frottera sans intermédiaire sur une chaussée.

D'ordinaire on atténue les résistances en interposant, entre le bloc et la chaussée, un traîneau auquel les câbles moteurs sont attelés.

Quant aux véhicules à roues, il ressort des recherches de M. Forestier qu'ils ne furent pas en usage avant la XVIII[e] dynastie.

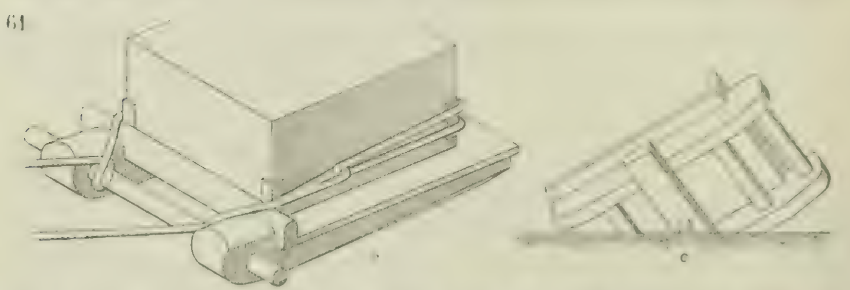
LE TRAINEAU.

La charpente du traîneau est connue par des fragments existants.

Elle se réduit à deux longerons entretoisés par des traverses.

La fig. 61 *a* est l'interprétation d'un traineau représenté dans les carrières d'El Masara :

Cheminement. — La traction est exercée par des bœufs, et l'atte-



lage paraît combiné de telle sorte que le câble moteur serve en même temps à fixer le bloc sur les longerons.

Changements de direction. — Le traîneau ne peut changer de direction en frottant sur le sol : les joues s'arracheraient. On pare à tout danger en adaptant (fig. 61 *c*) le pivot de rotation à une traverse.

Arrosage et régularisation du sol. — Les peintures nous montrent des traîneaux cheminant sur un sol qu'on arrose.

Cela implique un sol très ferme que l'arrosage rend glissant : Tel est en effet le limon de la vallée pendant les saisons de sécheresse.

En général le terrain est plat : Lorsqu'une rampe exceptionnelle se rencontre sur le trajet, les Égyptiens n'hésitent point à la régulariser par des installations de chaussées (accès du plateau de Gizé).

MANOEUVRE DES BLOCS SUR LES CHANTIERS DE CONSTRUCTION.

Prenons la pierre à pied d'œuvre et examinons les moyens employés pour la hisser sur tas.

Des constructions inachevées nous sont parvenues flanquées d'amas de terre qui s'étagent par degrés, et dont les gradins ont selon toute apparence été utilisés pour le montage des blocs.

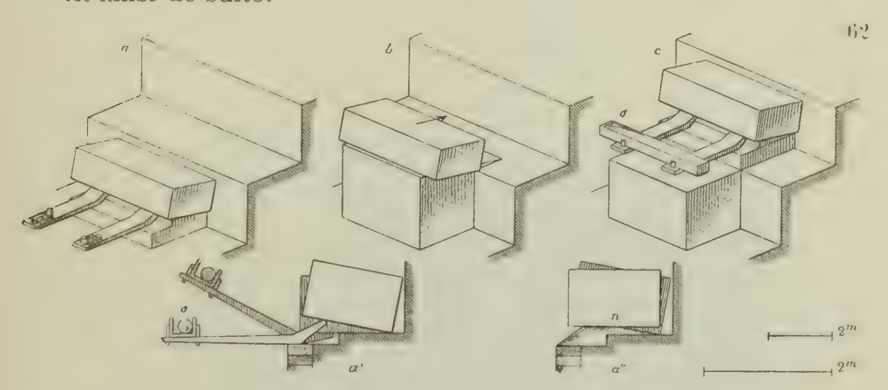
Admettons, sauf à entrer plus loin dans les détails d'installation, l'existence d'un escalier de ce genre, la conduite du travail s'explique d'elle-même :

a. — MONTAGE PAR LEVIERS.

Par soulèvement et calage progressif (fig. 62 *a*) on fait atteindre au bloc un niveau un peu supérieur à celui de la première marche ;

Au moyen d'une glissière (*b*) on le fait passer de la première marche à la deuxième ;

Et ainsi de suite.



Voici le programme des opérations de calage :

A l'aide du levier (*a'*) amener le bloc de la position horizontale à une position inclinée ;

Bourrer par-dessous (*a''*) une couche de terre *n* laissant en porte-à-faux le centre de gravité ;

Et laisser revenir :

Le bloc s'élève de toute l'épaisseur de la couche de calage.

On répète la manœuvre autant de fois qu'il le faut : progressivement le bloc monte.

---

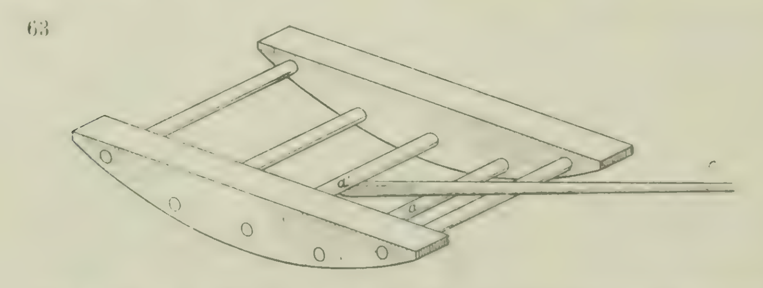
b. — MONTAGE PAR L'ASCENSEUR OSCILLANT.

Le procédé par leviers est seul applicable à des blocs tels que des poutres ou des linteaux dont le poids atteint 30 tonnes : Pour les pierres ordinaires, on emploie l'ascenseur oscillant.

DISPOSITION ET FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL.

Depuis longtemps on a remarqué, parmi les instruments reproduits dans les dépôts de fondation, une sorte de berceau en bois ayant l'aspect fig. 63 :

63



Deux joues en segment de cercle, ordinairement recoupées aux extrémités, et entretoisées par quatre ou cinq traverses.

Il existe au musée du Caire de très beaux modèles répondant à cette description; et le Louvre en possède 21 :

Évidemment l'objet est d'un usage courant.

Est-ce un cintre de voûte ?

Les voûtes ont bien rarement un profil en arc de cercle, et presque toutes sont exécutées sans cintrage.

D'ailleurs quelques exemplaires portent des inscriptions qui se présenteraient renversées s'ils figuraient des cintres.





1 [illegible] — 2 ESNÉ

I



1



2

PHILE

III



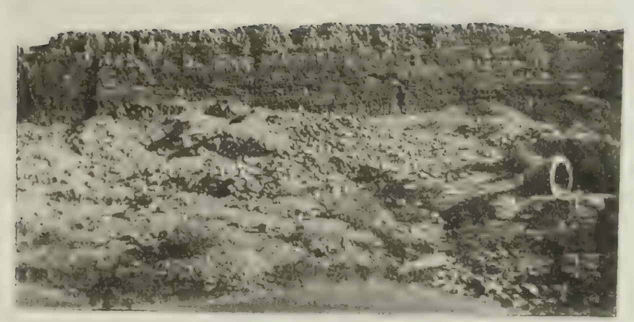
1



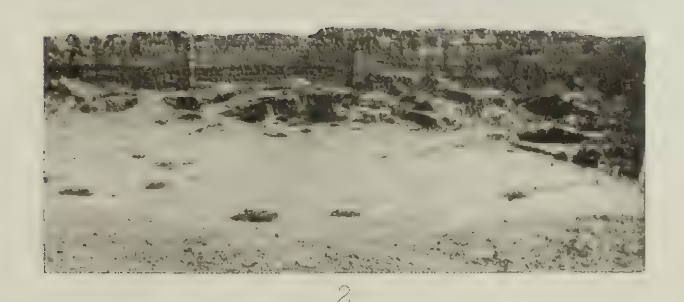
2

KARNAK

IV



1



2

KARNAK



1



2

EL KAB



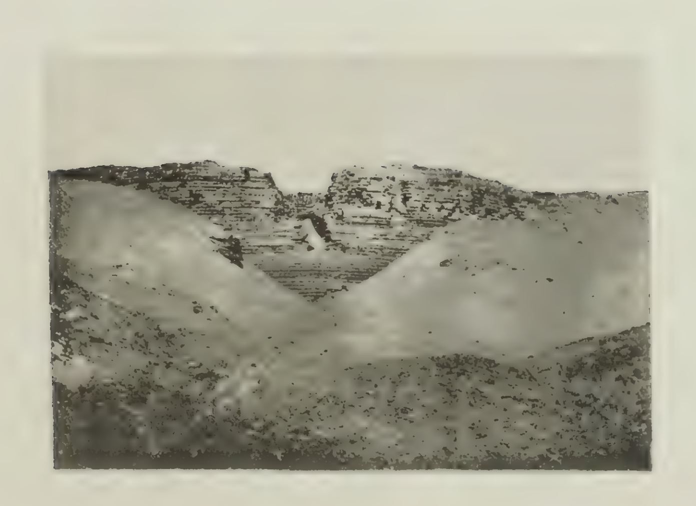
1



2

EL KAB

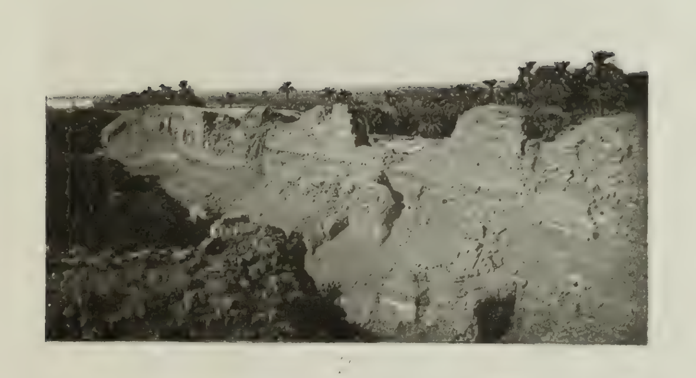




EL KAB



1



2

1 DEIR EL MEDINE. 2 ABYDOS



1



2

1 OMBOS 2 EL KAB

X



1



2

ABYDOS

X



1



2

ABYDOS

XII







1



2

MEDINET ABOU



1

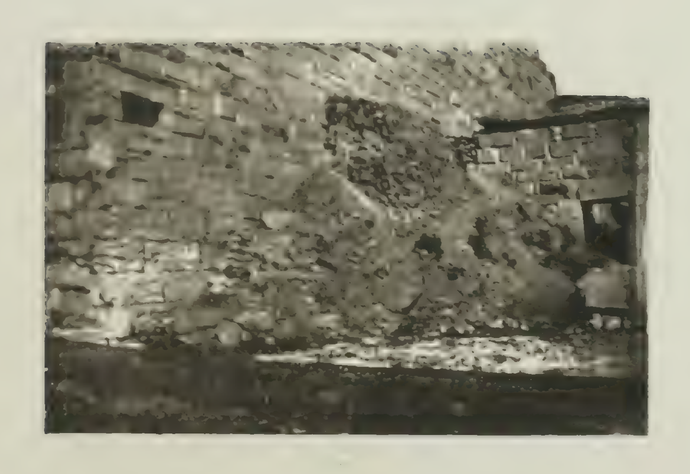


2

KARNAK

XV





KARNAK

XVI



1



2

KARNAK



1



2

1 LOUXOR _ 2 KARNAK

XVIII





KARNAK

XIX



1



2

1 LUXOR _ 2 EDFOU



1



2

1 LUXOR _ 2 MEDINET ABOU



1



2

1 LUXOR 2 KARNAK

XI



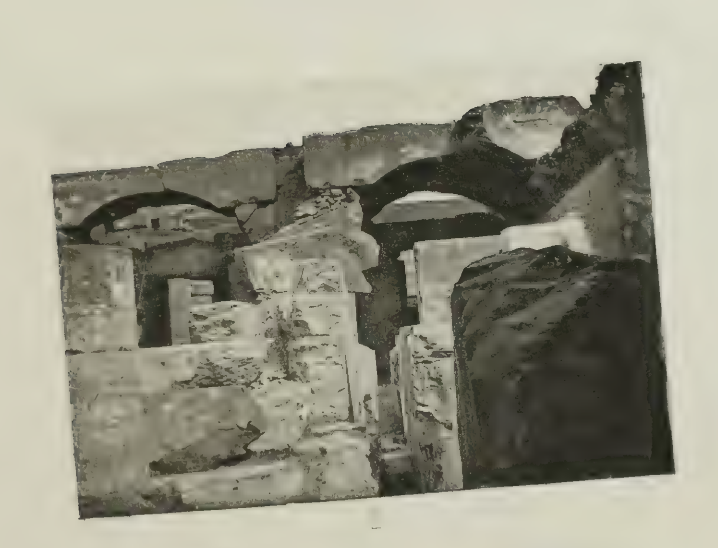
1



2

RAMESSEUM





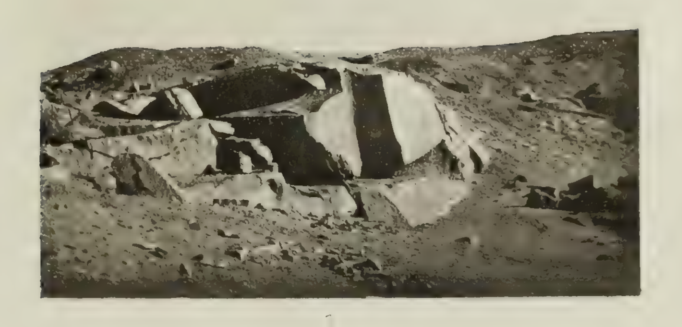
1 DEIR EL MEDINEH 2 ABYDOS





SAKARA

XXIV



1



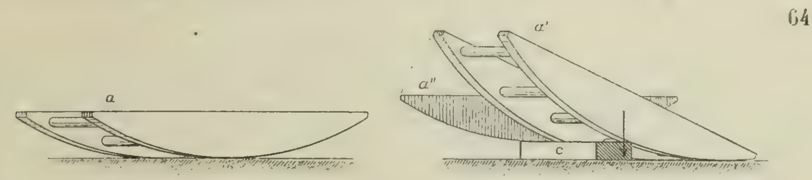
2

ASSOUAN

C'est dans un autre ordre d'idées qu'il faut chercher et que M. Legrain a trouvé l'explication.

Faisons osciller l'appareil (fig. 64).

64



Pendant l'oscillation la partie *a'* se soulève.

Glissons-y une cale *c* et laissons revenir : le système a monté de toute l'épaisseur de la cale *c*;

Nouvelle oscillation, nouvelle montée : L'appareil est un ascenseur.

Plaçons sur ses joues un bloc, il permettra de le soulever; ce sera un engin de manœuvre : un levier perfectionné.

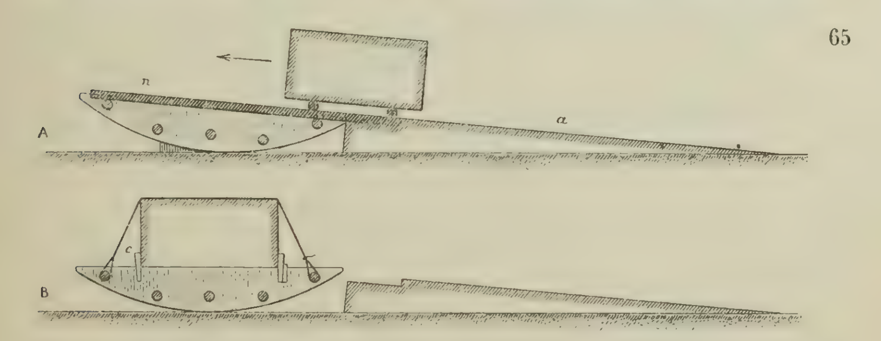
Examinons de plus près le mode de fonctionnement.

DÉTAILS DE LA MANŒUVRE.

CHARGEMENT.

L'appareil (fig. 65) étant calé en A et relié par des plats-bords *n* avec une rampe de chargement *a*, on amène la pierre par traînage;

65



puis (B) on enlève les plats-bords; et l'on assure la fixité au moyen d'arrêts *c* et, au besoin, d'une ceinture de cordage.

Le chargement achevé, on tire ou l'on pousse l'ascenseur jusqu'au pied de l'escalier de montage.

Il reste à le faire osciller :

OSCILLATION.

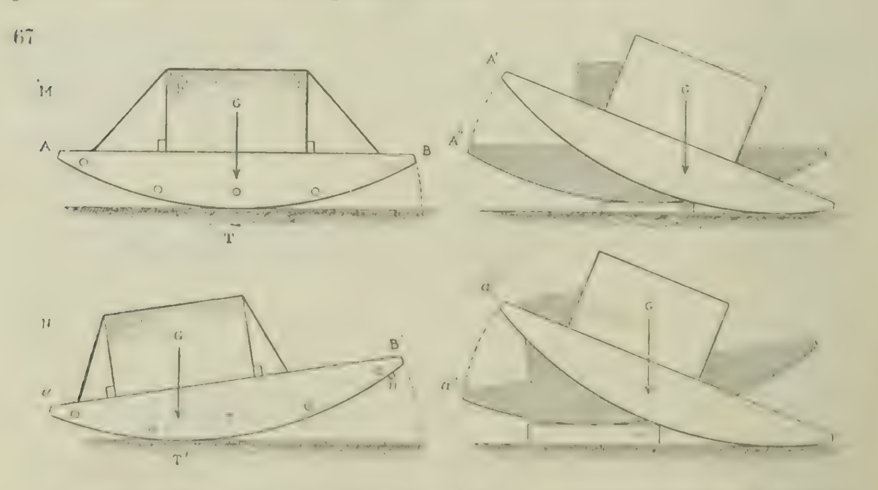
Le mouvement de bascule s'obtient (fig. 63, pag. 80) au moyen d'un levier c appuyé sur la traverse a et passé sous la traverse a'.

66



Comme moyen d'actionner le levier, on peut imaginer (fig. 66 A) une échelle de corde sur laquelle des hommes agiraient par leur poids, sans la moindre dépense d'effort musculaire.

67



Avantage d'un chargement excentrique. — L'amplitude de l'oscil-

lation serait faible si la position primitive était horizontale (fig. 67 M).

Mais admettons (variante N) que l'ascenseur soit chargé excentriquement :

Sa position initiale se trouvera inclinée vers l'arrière; et l'amplitude de l'oscillation, au lieu d'être réduite à l'arc TB, deviendra T′B′ : La fourrure de calage c' pourra être plus épaisse, et la manœuvre s'accélérera d'autant.

Il convient donc que l'ascenseur soit chargé à l'arrière.

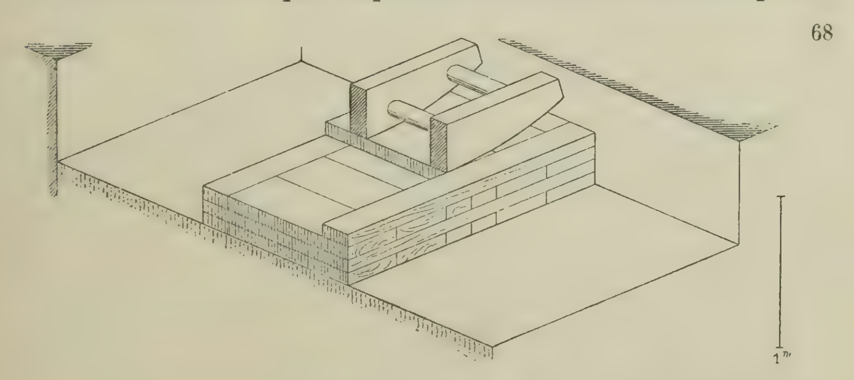
CALAGE.

A mesure qu'on s'élève, la pile des madriers de calage devient de moins en moins stable.

Il importe de la liaisonner et d'en restreindre la hauteur :

La limite de hauteur que l'expérience a fixée est d'environ 5 pieds;

68



et le mode d'empilage indiqué fig. 68 paraît de nature à prévenir les risques de flambement.

PASSAGE D'UN DEGRÉ AU SUIVANT. DÉCHARGEMENT.

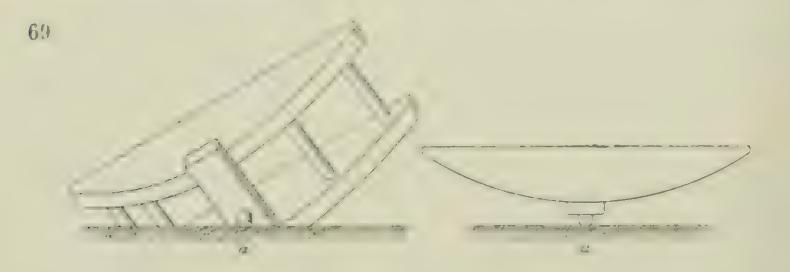
Quant au passage d'une marche à l'autre, il se fait, suivant un procédé précédemment indiqué, par glissement sur plats-bords (fig. 66 B).

Et enfin on reçoit la pierre sur des rouleaux pour l'amener en place.

APPLICATION AUX TRANSPORTS SUR LE SOL.

Au besoin l'appareil peut être employé comme traineau ; et, pour le traineau-ascenseur comme pour le simple traineau, la seule manœuvre délicate consiste à faire tourner le véhicule, à changer la direction de sa marche :

69



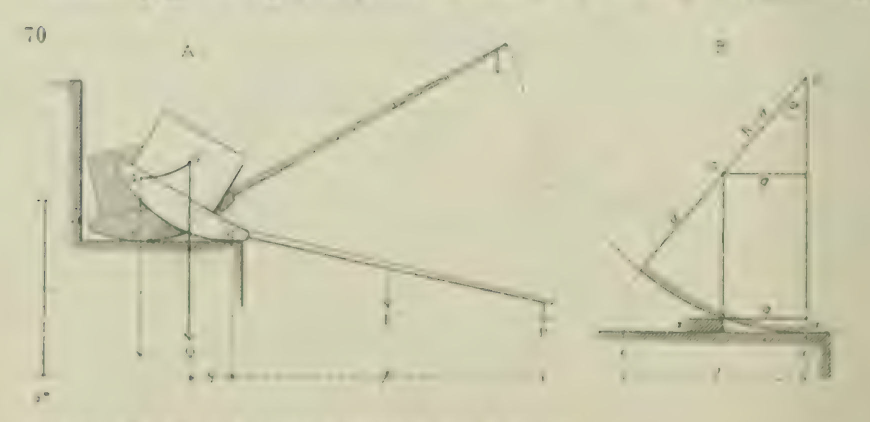
Dans les deux cas la solution est la même : nous la rappelons par la fig. 69.

RENDEMENT DE LA MACHINE.

1° EFFORT NÉCESSAIRE POUR SOULEVER LE BLOC.

Soient (fig. 70 A) Q le poids du bloc ; P l'effort qui l'équilibre ;

70



q et p les bras de levier de ces deux forces :

En exprimant l'égalité de leurs moments par rapport au point d'appui, on obtient

$$P = Q.\frac{q}{p}.$$

2° HAUTEUR DE SOULÈVEMENT.

Appelons (fig. 70 B) a la cote du centre de gravité dans la position de repos; α l'amplitude angulaire de l'oscillation, x l'épaisseur de la cale :

La position-limite de cette cale correspond à l'aplomb du centre de gravité soulevé; et l'on a

$$q^2 = x(2R - x)$$
$$q = (R - a)\sin.\alpha.$$

x et α étant très petits, négligeons le terme en x^2 et remplaçons sin. α par l'arc $\frac{l}{R}$, il vient

$$x = \frac{l^2(R-a)^2}{2R^3}.$$

Ainsi x est sensiblement proportionnel à l^2 et croît à mesure que a diminue.

D'où résulte l'utilité d'un grand arc d'oscillation (pag. 82), et d'un chargement qui place le centre de gravité aussi bas que possible.

Application numérique. — Si l'on attribue à l'ascenseur les dimensions fig. 70 A, en supposant $Q = 1.500^k$ on trouve $P = 200^k$ et $x = 0^m,12$.

Ainsi un bloc pesant 1.500^k montera de $0^m,12$ à chaque coup de barre; et, pour déterminer le mouvement, il suffira de 200^k : le poids de trois hommes au plus agissant (pag. 82) sur une échelle de corde.

On voit d'après ces chiffres avec quelle simplicité de moyens s'effectue la manœuvre; avec quelle facilité peut s'approvisionner

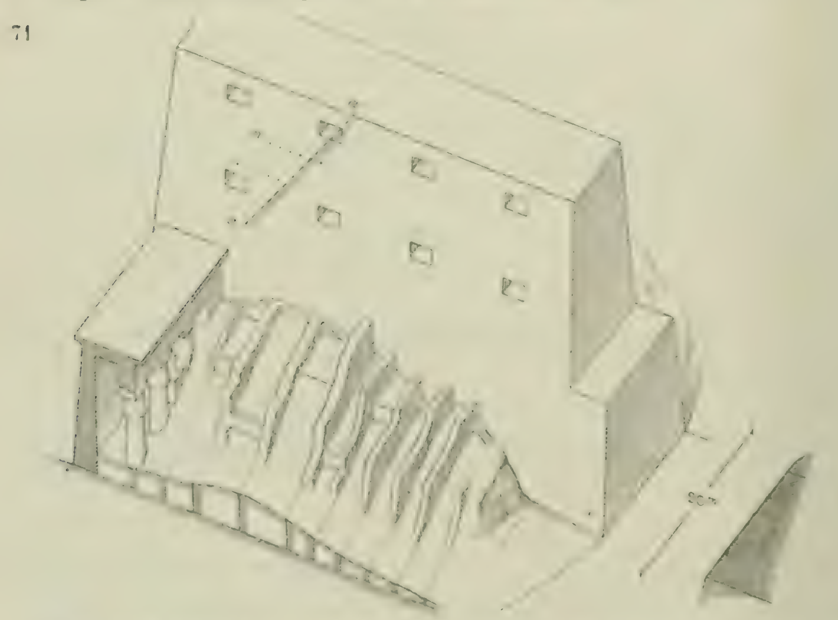
un chantier de pose servi par une série d'ascenseurs échelonnés sur l'escalier de montage.

Reste à connaître les détails de cet escalier même.

LES GRADINS DE MONTAGE.

En exposant le fonctionnement des engins, nous avons demandé d'admettre comme un fait qui trouverait ultérieurement sa vérification, que le montage s'opérait par échelons, le bloc franchissant l'un après l'autre les degrés d'un massif de terre.

71



C'est aux grands pylônes de Karnak que le système a laissé les traces les plus parlantes. Quatre exemples existent : à chaque face des deux pylônes correspond un massif d'échafaudage.

ÉTAT ACTUEL DES ÉCHAFAUDAGES DE KARNAK.

Des quatre massifs, le mieux conservé est celui que reproduisent la fig. 71 et la pl. XIV.

On y distingue une série d'éperons de brique crue, entretoisés par des murettes transversales, et plus espacés dans la moitié de gauche que dans celle de droite.

Le contour est jalonné sur le parement du pylône par des trous *n* où s'engagèrent les solives de huttes que les fellahs ont jadis étagées sur le monticule.

Ce contour est un triangle à l'inclinaison $\frac{4}{5}$: L'un des côtés *aa'* part du portique *a*; l'autre aboutissait au jambage *c* de la porte centrale.

Quant au profil, il est marqué sur les parements du portique *a*.

Dans la partie envahie par les terres, ce portique n'a pu être ravalé, le chapiteau d'une colonne est resté brut (pl. XV 1) :

En suivant la ligne où le ravalement s'arrête, on reconnaît une inclinaison à 45°.

Ainsi l'on a deux sections très nettes qui définissent la forme générale.

Le massif était une demi-pyramide, une pyramide coupée diagonalement par le pylône.

RECONSTITUTION ET MODE DE FONCTIONNEMENT.

Essayons d'interpréter les indices fournis par le réseau de murs qui forme l'ossature du remblai.

QUE L'ÉCHAFAUDAGE EST UN ESCALIER, NON UNE RAMPE.

La première idée qui vient à l'esprit est celle de plans inclinés, de rampes continues auxquelles les murs-éperons auraient servi d'échiffres, et sur lesquelles les matériaux auraient été remorqués par traction.

Les échiffres, émergeant progressivement de la masse, auraient été peu exposées à se déverser sous la poussée; au lieu d'une

rampe isolée s'élevant à plus de 30^{m} et pratiquement irréalisable, on aurait eu des rampes accolées s'épaulant l'une l'autre :

Au point de vue de la bonne construction, le système eût été irréprochable.

Mais, au point de vue de la facilité de montage, il en eût été tout autrement :

Des plans inclinés exigeraient un développement de base que l'étendue de la cour ne comportait point.

L'inclinaison d'un glacis atteignant au sommet du pylône eût été à 1 de hauteur pour 2 de base, et, pour remorquer un bloc de 15 tonnes, il eût fallu plus de 500 hommes.

Où les poster ?

Sur la rampe même, les pieds auraient glissé; sur la plate-forme étroite du sommet, la file des haleurs n'aurait pas trouvé place.

Et d'ailleurs, dans l'hypothèse d'un simple glacis, comment justifier les murettes transversales ?

L'entretoisement qu'elles procurent n'aurait rien ajouté à la stabilité :

N'est-il pas naturel d'admettre qu'elles étaient les contre-marches d'un escalier, sur lequel les matériaux eussent été hissés de degré en degré ?

Au lieu de rampes continues, on aurait donc une disposition par échelons, telle que l'indique la fig. 72.

TRACÉ DE L'ESCALIER.

Le giron des marches se détermine par des mesures directes ; il peut être évalué à 5 pieds.

Sachant que l'inclinaison de l'escalier est à 45°, on est autorisé à

regarder ce chiffre de 5 pieds comme représentant la hauteur des marches.

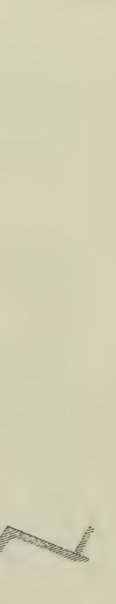
Ces dimensions paraissent très convenablement réglées :

La profondeur est suffisante pour les manœuvres par ascenseur (pag. 85);

La hauteur est assez restreinte pour que la pile des madriers de calage ne risque pas de flamber (pag. 83).

A gauche existent deux volées à large emmarchement, sur les-

72



quelles peuvent se mouvoir, à l'aide de leviers (pag. 79), les blocs volumineux destinés aux linteaux des baies.

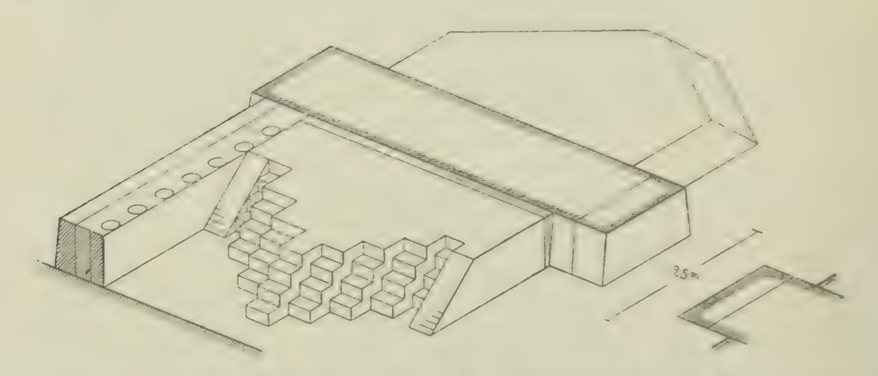
Ainsi conçu l'échafaudage répond à tous les besoins du chan-

tier; et, au lieu des efforts qu'eût exigés la traction sur rampe. il suffit (pag. 85) de trois hommes pour soulever un bloc.

ASPECT DE L'ESCALIER AU COURS DU TRAVAIL.

La fig. 72 représente le massif au moment où il atteint le sommet du pylône; la fig. 73 le montre en cours d'exécution.

73



Les volées latérales sont peu à peu débordées par le pylône qui s'élève.

Elles cessent, l'une après l'autre, d'être utilisables pour le montage, elles ne servent plus qu'à épauler les volées centrales :

Les plus larges vont juste assez haut pour permettre la pose des gros linteaux;

Et, lorsqu'on arrive au sommet, il ne reste plus qu'une volée libre, celle du milieu.

A chaque instant le massif s'arase suivant une plate-forme triangulaire.

Cette plate-forme doit être toujours au niveau des maçonneries du pylône :

On peut la surhausser travée par travée sans interrompre le travail des maçons.

EXISTENCE ET AGENCEMENT DE SENTIERS DE SERVICE.

Indépendamment du montage des pierres, il faut assurer celui

des briques et des remblais ; il faut pourvoir à la circulation des ouvriers.

Or (fig. 72 pag. 89) une murette verticale laisse entre le pylône et le massif un intervalle a'', où se logerait fort bien un sentier de service.

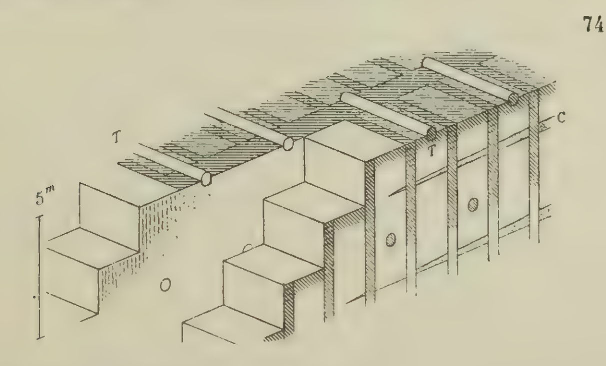
Ce sentier est accessible suivant a et a' :

En a les porteurs de briques ou de remblais gravissent à charge; en a' ils descendent à vide.

DÉTAILS D'EXÉCUTION.

La fig. 74 indique les particularités de structure qui n'ont pu trouver place dans les figures d'ensemble.

74



On remarquera combien sont légers les murs de brique qui forment l'ossature du massif.

Pour empêcher les éperons de se renverser sous la poussée des remblais, on eut soin de les rendre deux à deux solidaires en les reliant par des traverses de palmier T

Les murs-éperons partent tous du sol ;

Les murettes transversales montent-elles aussi du fond ? nous n'avons pu le vérifier.

Enfin on distingue dans la masse des couches de gravats C, recon-

naissables sur la photographie pl. XV 2 : Elles paraissent provenir (pag. 54) du dérasement sur tas des lits de l'appareil.

UTILISATION DE L'ÉCHAFAUDAGE DES PYLONES POUR LA CONSTRUCTION DES PORTIQUES.

Le massif que nous venons de décrire ne servit pas seulement à l'exécution du pylône ; il permit en même temps d'élever le portique qui borde la cour.

Ce portique était rempli de terres maintenues par un rideau de brique dont les vestiges se sont conservés (pl. XV 1, XVI 1).

Les gradins de montage du pylône (fig. 73, pag. 90) amenaient à hauteur les matériaux du portique ;

Ces matériaux cheminaient sur l'arasement du terre-plein, et arrivaient sans difficulté à leur place.

MONTAGE PAR GRADINS, MONTAGE PAR SUSPENSION.

Les pylônes et les portiques de la grande cour de Karnak datent peut-être des dynasties grecques : les procédés dont ils témoignent sont purement égyptiens.

Le système grec, qui est le nôtre, consiste à monter les matériaux à l'aide de machines à palans telles que chèvres, bigues ou écoperches.

Ce système, lorsqu'il fut appliqué, a toujours laissé des traces : Les pierres gardent des trous de louve, ou des rainures en U ayant donné prise aux cordages.

Ces traces ne se rencontrent point à Karnak.

Avec la chèvre on saisit les matériaux à pied d'œuvre pour les lever d'un trait :

Des gradins, des repos seraient superflus et ne feraient que compliquer la manœuvre.

La présence de ces repos, l'absence de toute entaille d'attache, confirment donc l'idée d'une méthode où les engins à palans ne trouvent point leur place.

Même aux époques les plus récentes, les indices qui décèleraient ces appareils sont rares, tout au moins équivoques : Dans un pays qui ne cessa de vivre sur le fonds des traditions, il est à croire que le vieux système ne fut jamais abandonné.

CHANTIERS DES TEMPLES ET DES PYRAMIDES.

Les procédés de la construction d'appareil ont comme principales applications les temples et les tombeaux :

Essayons de reconnaître comment l'organisation de chantiers écrite dans les pylônes de Karnak s'adapte à ces édifices et, par contre-coup, les influences qu'elle exerce sur leur structure.

TEMPLES.

L'emploi de terrassements au lieu d'échafaudages en charpente paraît tout indiqué :

Si l'on jette les yeux sur le plan d'un temple égyptien, on est frappé de l'étroitesse des vides. Les colonnes, dont l'écartement est limité par la portée des dalles plafonnantes, se pressent les unes contre les autres.

Remblayer les intervalles serait une dépense insignifiante, et, au point de vue du montage, une ressource précieuse :

SALLES HYPOSTYLES.

Que l'on imagine (fig. ci-contre) l'enceinte de la salle remplie par un massif de remblai montant à mesure que s'élèvent les colonnes et les murs.

Des degrés de brique, semblables à ceux des pylônes de Kar-

nak, permettront de hisser les matériaux sur le terre-plein ; et ce terre-plein, se rehaussant progressivement, constituera une plate-forme de pose où toutes les manœuvres se feront avec autant de facilité que sur le sol même.

CAS GÉNÉRAL.

S'il existe au pourtour un espace libre où puissent se développer les escaliers de montage, la méthode sera de point en point celle que nous saisissons sur le fait à Karnak : On bâtira la salle (fig. 75)

75



tout comme on a construit le portique de la grande cour (pag. 92), qui est en somme une salle hypostyle à une seule travée.

VARIANTE.

Mais l'espace peut faire défaut :

Alors on reporte à l'intérieur (fig. 76), dans une brèche V, la

76



partie de l'escalier qui ne trouve point sa place au dehors.

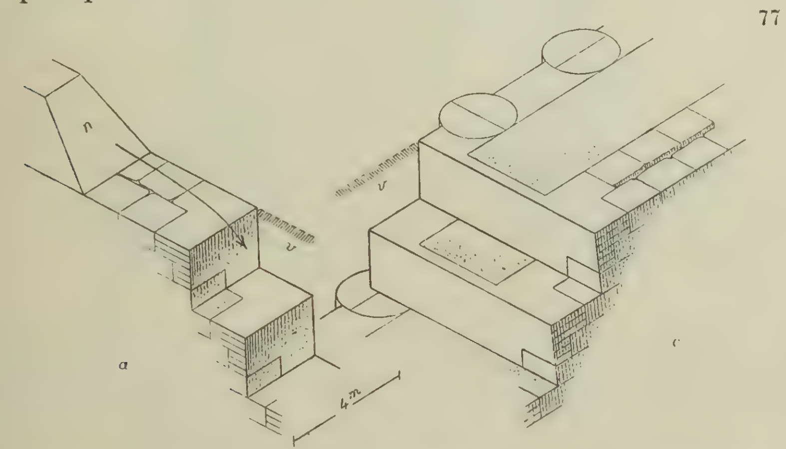
Et, en fin d'opération, on comble la brèche à l'aide de matériaux T provisoirement entreposés sur la plate-forme.

PORTIQUES ET CLOTURES.

Cet artifice, qui permet de suppléer au manque d'espace, s'est présenté à propos des ouvrages d'argile.

En voici (fig. 77) l'application aux cas d'un mur de pierre *a* et d'un portique *c* :

77



On utilise pour le montage les assises mêmes de l'appareil, sauf à convertir, à l'aide de briques, un groupe de deux ou trois assises en un gradin à giron profond sur lequel l'ascenseur puisse librement osciller.

Ainsi furent probablement élevées ces clôtures qui bordent les chemins de ronde des temples; ainsi le furent les portiques lorsqu'on n'eut point, comme à Karnak, la ressource d'un échafaudage existant (pag. 92).

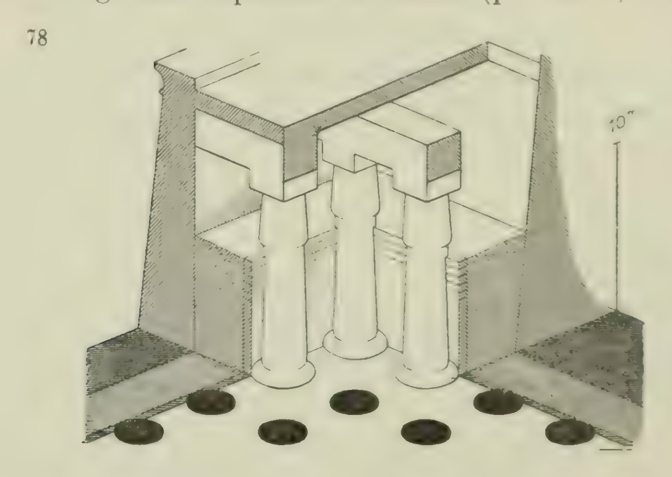
LES ÉCHAFAUDAGES DE RAVALEMENT.

Le ravalement, au moins pour l'intérieur des salles, n'exige aucune installation spéciale :

En déblayant les terres on obtient une plate-forme qui s'abaisse au fur et à mesure des besoins.

Les parements extérieurs, et peut-être quelques travaux de parachèvement, sont exécutés à l'aide d'échafaudages volants, dont les trous d'attache se distinguent le long des terrasses d'Edfou et aux rebords des grands chapiteaux de Karnak (pl. XIX 2, XVIII 2).

78



Indépendamment des attaches d'échafaudages volants, on distingue à la salle hypostyle de Karnak (fig. 78, pl. XVI 2) des amas de terre maintenus par des revêtements de brique, et qui correspondent à des parties de l'édifice où le décor est resté à l'état d'ébauche.

M. Legrain, qui a bien voulu nous les signaler, les interprète ainsi : Ramsès II, impatient de jouir de son œuvre, aurait fait déblayer la salle avant son complet achèvement.

Quelques travées peu en vue n'étaient alors qu'épannelées : Pour les ravaler on établit à leur endroit de nouveaux remblais.

Un événement inattendu interrompit le travail, et les remblais sont encore en place.

PYRAMIDES ET HYPOGÉES.

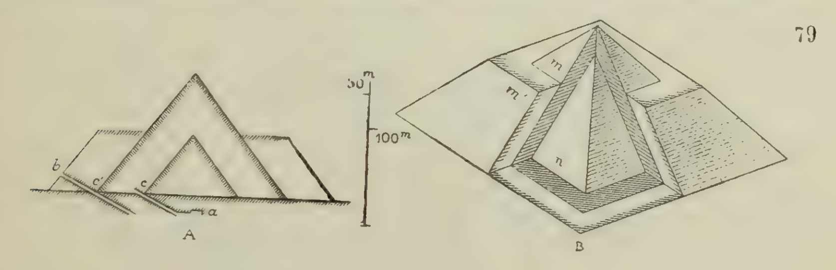
Sauf de rares exceptions telles que la tombe d'Ounas à Sakara,

les pyramides sont exécutées par application successive de tranches de maçonnerie aux flancs d'un pyramidion central :

Ce sont des masses progressivement grossies, et croissant comme d'immenses cristaux, par couches qui s'enveloppent les unes les autres.

En dehors de cette hypothèse, nous aurions peine à concevoir (fig. 79 A, Mycérinus) des chambres souterraines telles que *a* dont

79



les couloirs d'accès se perdent dans le massif :

Originairement l'orifice *c* était libre; c'est en s'élargissant que la pyramide l'engloba.

D'autres couloirs *c'* se prolongent à travers des couches qui sans doute n'étaient point prévues au projet primitif et, au lieu de déboucher à fleur du sol, viennent aboutir en des points tels que *b*.

L'accroissement par enveloppes peut donc être considéré comme la règle.

PYRAMIDES PROPREMENT DITES.

Nous parcourrons dans cet ordre d'idées les exemples principaux, à commencer par les pyramides à faces planes, dont le type est Gizé.

GIZÉ.

STRUCTURE.

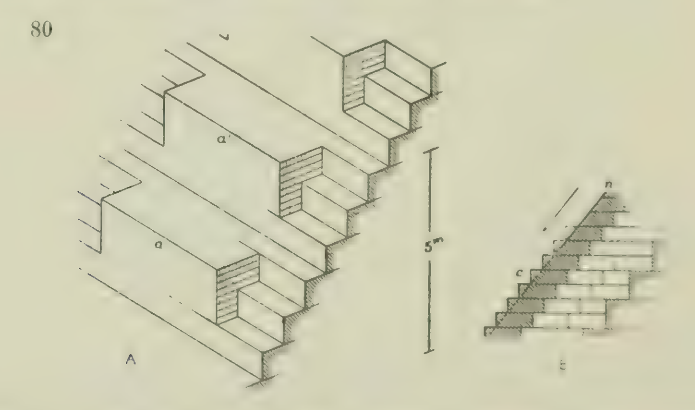
Qu'on imagine (fig. 79 B) un noyau *n* composé d'assises de libages; et, s'emboîtant aux flancs, une couche *m* qui se raccorde,

lit par lit, avec le massif formant noyau : Tel est l'aspect de la pyramide en cours d'exécution.

A son tour la couche *m* sera recouverte par une autre *m'*. Et ainsi de suite.

Les redans (fig. 80) qui résultent de la retraite progressive des assises assurent la liaison mutuelle des couches.

80



Pour la dernière, qui forme chape et porte le parement, on a subordonné l'appareil à l'épaisseur des pierres décoratives du parement.

Ces pierres proviennent de carrières où la hauteur de banc est moindre :

Deux assises de la chape équivalent à une assise courante,

De sorte que la dernière enveloppe répond aux indications fig. 80 B.

RECONSTITUTION DU CHANTIER.

Suivant une tradition recueillie par Hérodote (II 124, 125), les pierres arrivèrent du Nil à pied d'œuvre sur des chaussées; et gravirent, comme autant d'échelons, les retraites des assises à l'aide d'une machine qu'il caractérise ainsi :

Elle était faite de petits bois; et peut-être, ajoute-t-il, elle se transportait de retraite en retraite.

Les chaussées d'amenée existent encore;

Les échelons, naturellement fournis par l'appareil, répondent bien aux gradins artificiels de Karnak;

Et cette machine de levage qui se transporte avec les blocs, n'est probablement autre que l'ascenseur oscillant.

Le principe ressort de la description d'Hérodote; mais, dans un souvenir si vieux, c'est le principe seul qu'on doit voir.

Les retraites de l'appareil ne donneraient pas une profondeur de giron suffisante pour la manœuvre :

Il faut, à l'aide de fourrures de brique (fig. 80 A), grouper les gradins deux par deux.

A cette condition le procédé devient tout à fait pratique :

L'ascenseur oscillant élève les blocs en *a*, puis en *a'*, jusqu'au niveau de l'assise.

Les flancs de la pyramide sont d'ailleurs assez étendus pour permettre de multiplier les escaliers;

Et l'on peut imaginer deux sortes d'escaliers inégalement larges, affectés les uns aux pierres d'appareil courant, les autres aux blocs de masse exceptionnelle : les uns adaptés à l'emploi de l'ascenseur oscillant (pag. 82), les autres à la manœuvre par leviers (pag. 79).

Indépendamment de ces escaliers de montage, il est clair que des escaliers de circulation sont nécessaires pour le service du chantier : Ils se logent dans les retraites.

DÉTAILS D'EXÉCUTION DES GALERIES.

Des couloirs à pente très prononcée pénètrent dans la masse.

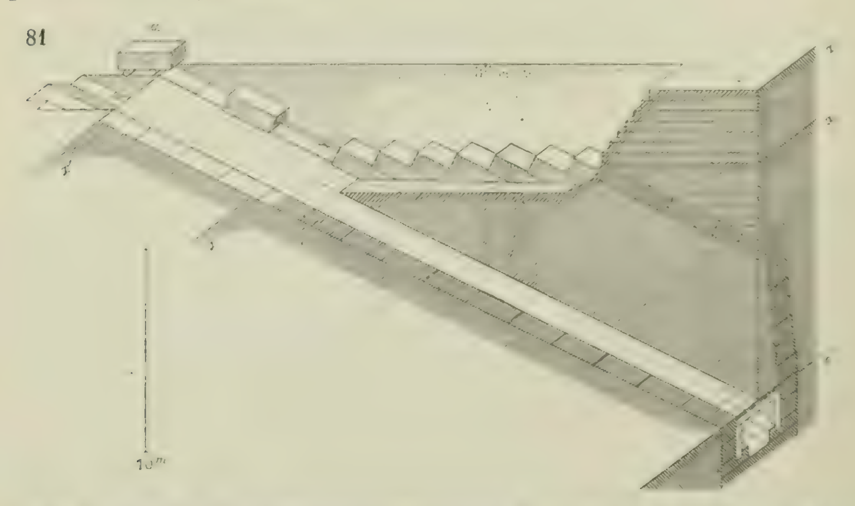
Nous avons indiqué (pag. 66, fig. 55 *c*) la structure d'une de ces galeries : la disposition rampante et le surplomb de ses assises.

La figure ci-contre explique la marche du travail :

On construit le massif général en ménageant une brèche à l'endroit de la galerie.

On élève sur la plate-forme les blocs *a* destinés aux pieds-droits : Puis on les fait descendre par simple glissement : Les lits en pente forment glissières.

81



Et comme les assises surplombantes pourraient basculer, on les maintient au moyen d'un noyau de terre porté par un plancher sur potelets : Les enclaves des potelets sont encore reconnaissables.

RAVALEMENT.

L'opération du ravalement consiste (fig. 80 B, pag. 100) à supprimer, abattre sur tas les angles des pierres de parement.

Suivant une méthode qui est générale (pag. 56), les parties supérieures furent ravalées les premières : La pyramide, dit Hérodote, fut parachevée (ἐξεποιήθη) à commencer par le haut.

Il ne fallut pour cela aucune installation :

Les blocs *c* non encore retaillés formaient des paliers où les ouvriers travaillaient à leur aise.

OU SE FABRIQUENT, COMMENT S'EMPLOIENT LES MORTIERS.

Sauf dans les galeries et les salles, où les joints sont vifs, l'as-

siette des blocs est assurée (pag. 59) par un coulis de mortier de plâtre.

Le mortier, étant à prise rapide, ne peut être fait que sur place. Des fosses, encore béantes au pied des Pyramides, servaient apparemment d'entrepôts pour le plâtre, ou de citernes pour l'eau d'extinction.

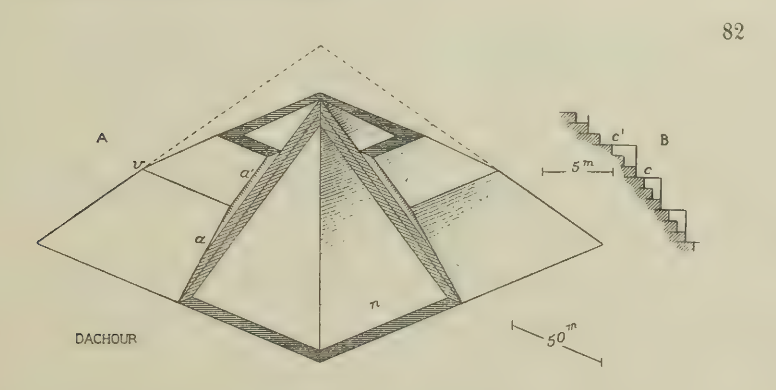
DACHOUR.

Le talus habituel des pyramides est de plus de 45°.

Si, comme à Gizé, l'escalier de montage suit cette pente, il sera un peu trop raide pour être commode (pag. 89) :

La difficulté peut être éludée.

82



Nous voulons (fig. 82) bâtir une pyramide au talus *a*.

Quel que soit *a*, donnons aux couches une inclinaison *a'* voisine de 45° :

Nous n'aurons à subir que jusqu'au niveau *v* l'inconvénient d'une pente *a* trop raide; à partir de *v*, l'escalier prendra l'inclinaison normale.

Telle paraît être la pensée des constructeurs de Dachour et de Matanié.

Sans doute leur œuvre fut interrompue; et le profil brisé *aa'* fut simplement parementé.

A noter dans le parement de Dachour un léger dévers des lits. qui empêche les blocs de glisser au vide.

OUNAS.

La pyramide d'Ounas réalise l'économie du noyau de libage : Le massif est un amas de cailloux dans une enveloppe de pierre.

D'ailleurs, au point de vue de l'organisation du chantier, cette pyramide ne diffère en rien de celles qui viennent d'être décrites : Les blocs de parement, avant d'être ravalés, formèrent au pourtour un escalier de montage.

PYRAMIDES DE BRIQUE.

Dans le cas des pyramides de brique, le procédé se simplifie. Plus n'est besoin d'ascenseurs ni de larges degrés, tous les transports se font à bras : Les porteurs gravissent, comme autant de marches, les retraites mêmes des assises.

La construction grossit par enveloppes ; et généralement elle est revêtue d'un parement de pierre.

Ces pyramides offrent de curieux exemples de la maçonnerie sur lits de sable (pag. 13).

PYRAMIDES A DEGRÉS.

Nous arrivons aux constructions par étages retraités, dont Sakara offre le type.

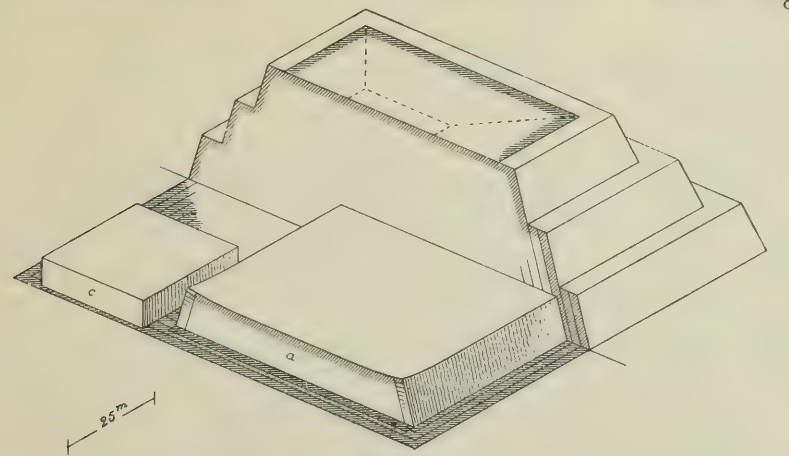
SAKARA.

La grande pyramide de Sakara (fig. 83 ; pl. XXII) englobe un groupe de tombes dont deux, *a* et *c*, sont visibles à travers les brèches.

Peut-être fut-elle la sépulture commune des Apis de l'ancien Empire ; elle se présente comme un massif englobant leurs tombes :

Cette hypothèse explique le plan barlong imposé par les empla-

83



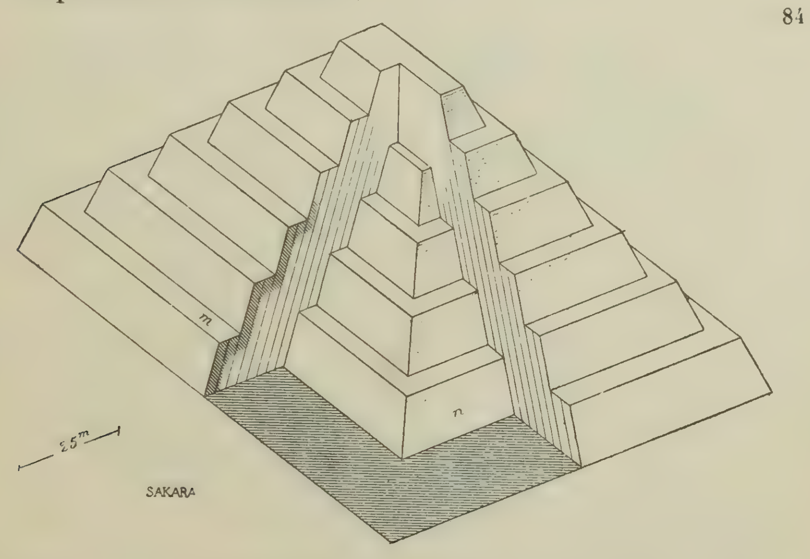
cements a recouvrir, et l'inextricable écheveau des couloirs.

STRUCTURE.

Les matériaux sont des libages à bain de mortier;

Les parements sont inclinés;

84



Et la masse se décompose (fig. 84) en tranches jumelles *m*, maçonnées par lits à peu près perpendiculaires aux parements.

Ce qui caractérise la structure est l'absolue indépendance des tranches :

La pyramide est coupée de bas en haut par des plans continus de déliaisonnement, tels que la figure les indique.

Ce parti dispense de se raccorder lit par lit avec les assises existantes : il supprime une sujétion grave.

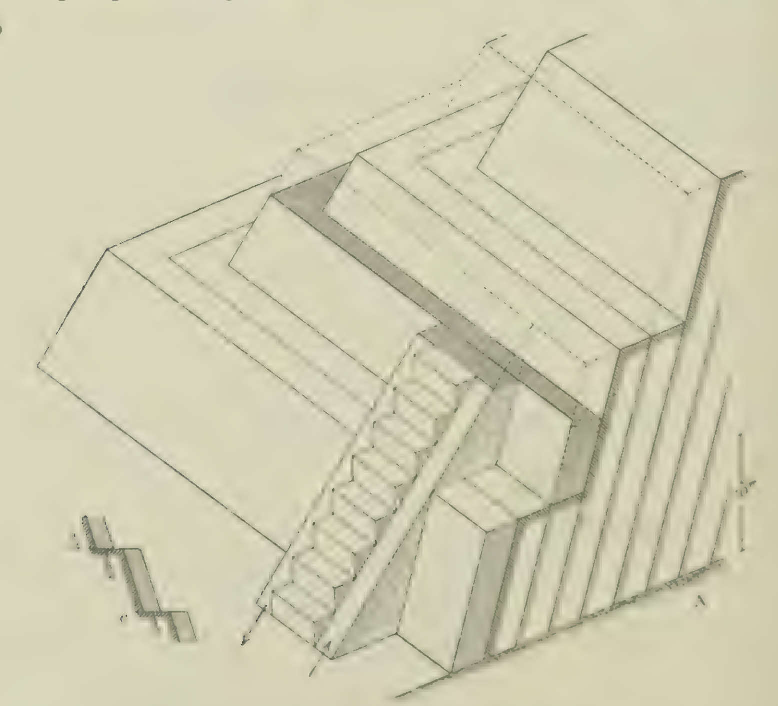
Mais il a pour conséquence un morcellement que nous devrons examiner au point de vue de la stabilité.

Prenons-le comme un fait, et voyons comment il se réalise.

RECONSTITUTION DU CHANTIER.

Supposons la pyramide parvenue à l'état indiqué par un liséré sur la perspective fig. 85 A.

85



Il s'agit d'appliquer une couche nouvelle :

Des gradins de montage trouvent d'eux-mêmes leur place dans les redans du profil; ils prennent leur appui sur les retraites existantes, s'arasent au niveau du chantier de pose, et se rehaussent avec lui.

L'assise en cours d'exécution forme comme une voie de service où les blocs circulent, sur plats-bords et rouleaux, de l'escalier de montage au lieu d'emploi.

LES CONDITIONS DE STABILITÉ.

En ce qui concerne la stabilité, la structure de Sakara soulève deux questions :

Pourquoi l'inclinaison des tranches ?

Pourquoi leur superposition sans découpe ?

a. — *Inclinaison des tranches.* — Des tranches déversées s'épaulent l'une l'autre, mais risquent de glisser du pied.

Sur le sol argileux de la vallée, le glissement serait inévitable.

Mais tel n'est pas le cas des Pyramides. Toutes occupent des sites assez élevés au-dessus des crues pour mettre à l'abri des eaux le dépôt qui leur est confié : la plupart reposent sur le roc; toutes, sur un fond excellent.

b. — *Déliaisonnement de l'appareil.* — A première vue, des tranches accolées sans liaison semblent inquiétantes; on se demande s'il n'eût pas été mieux de ménager entre elles un chevauchement tel que l'indique (fig. 85) le croquis *c* ?

Nous ne le croyons pas :

Dans le système liaisonné *c*, la tranche en cours d'exécution reposerait moitié sur des maçonneries encore fraîches et compressibles, moitié sur des maçonneries ayant déjà pris charge; elle risquerait de porter à faux.

Mieux vaut sacrifier la découpe, sauf à donner aux tranches assez d'épaisseur pour les empêcher de flamber.

Ajoutons que la variante *c* complique le montage.

La largeur de plate-forme se réduit à 1 fois ½ l'épaisseur d'une tranche; et il faut opter entre deux partis :

Donner aux marches une hauteur excédant la limite de 5 pieds (pag. 89);

Ou bien renoncer à la disposition simple de l'escalier droit, et recourir à des volées parallèles au parement.

Les constructeurs de Meidoum accepteront cette dernière solution; ceux de Sakara s'attachent à l'éviter.

DÉTAILS DE LA PYRAMIDE ET DES TOMBES QU'ELLE ENGLOBE.

Une particularité bien des fois remarquée consiste (pl. XXII) dans un très léger relèvement des assises vers les angles.

Nous avons dit que les lits sont déversés :

Cela nous reporte à un cas déjà étudié (pag. 20). Le raccord de deux assises en retour d'équerre conduit à un retroussis d'angle : C'est ce retroussis qui s'observe.

Et il n'existe pas seulement à la pyramide : il se dessine, mieux accentué, à la principale des tombes qu'elle enclave (tombe *a*, pag. 104 fig. 83).

Cette tombe était — comme le fut plus tard la pyramide — exécutée par tranches à fort talus et assises très déversées; ses lits se relèvent d'une façon bien nette vers les extrémités.

MEIDOUM.

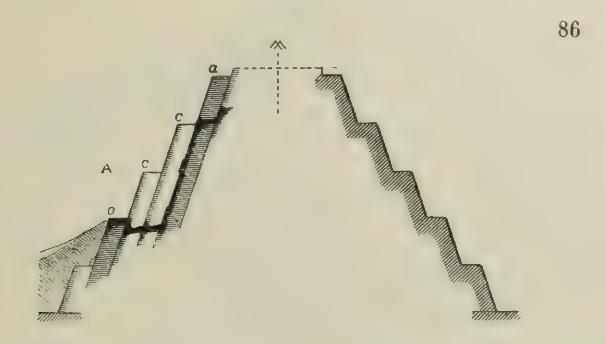
A Meidoum nous trouvons le profil par retraites appliqué avec ce

genre d'économie qui consiste à remplacer, au moins partiellement, les maçonneries pleines par des remblais.

STRUCTURE.

Les photographies pl. XXIII donnent l'état de la ruine; la fig. 86 montre la coupe, et marque par un liséré la limite des parties conservées.

86



Dans la pyramide de Sakara nous comptions à chaque retraite deux tranches jumelles;

Ici, à chaque retraite répond une tranche unique.

A Sakara toutes les tranches étaient de structure uniforme;

Ici nous rencontrons à tour de rôle :

Une tranche de maçonnerie pleine *a*;
Deux tranches de remblai simplement parementé *c*, *c*.

Et cette alternance d'une tranche pleine et de deux tranches de remblai parementé se renouvelle dans toute la masse.

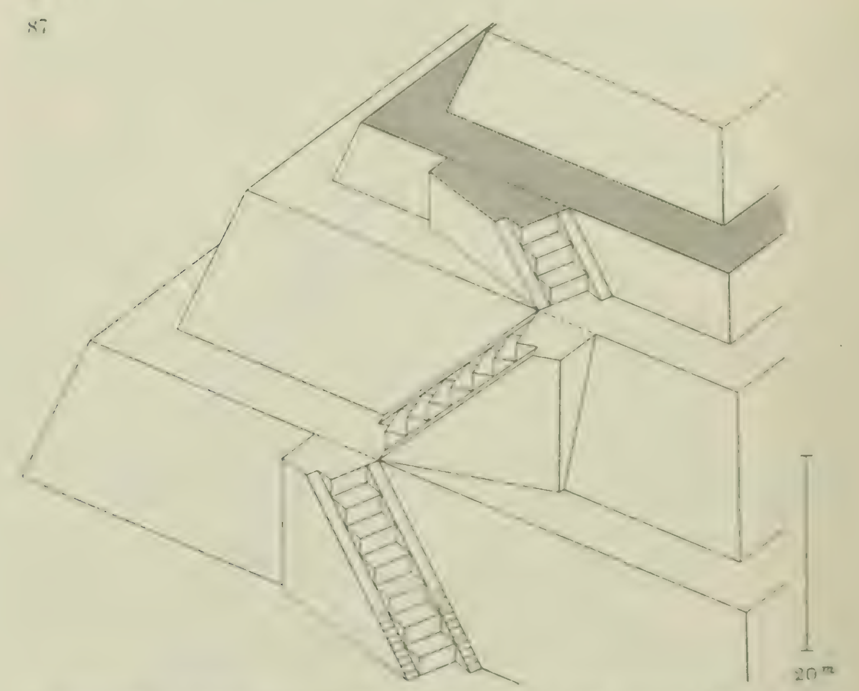
RECONSTITUTION DU CHANTIER.

Disposition des escaliers de montage. — Évidemment cette structure se concilie avec l'emploi d'un système de montage par gradins.

Mais la largeur de la plate-forme est insuffisante pour permettre d'orienter les volées perpendiculairement au parement :

De toute nécessité il faut recourir à des rampes parallèles au parement : en d'autres termes adopter, au lieu de la disposition à escalier droit (pag. 106 fig. 85), l'arrangement en perron indiqué fig. 87.

87



Marche du travail. — Comme la plupart des pyramides, celle de Meïdoum passa successivement par plusieurs états de grandeur.

Chaque fois que s'achevait une enveloppe, le Pharaon, craignant qu'elle ne fût la dernière, faisait ravaler les parements.

La perspective fig. 88 B permet de suivre la marche du travail :

A un certain moment, la pyramide présenta l'aspect N.

Alors la face *f* était à nu : elle reçut le ravalement ;

Mais, comme sa partie inférieure φ, cachée par la saillie *s*, échappait à la vue, toute cette partie basse φ fut laissée brute.

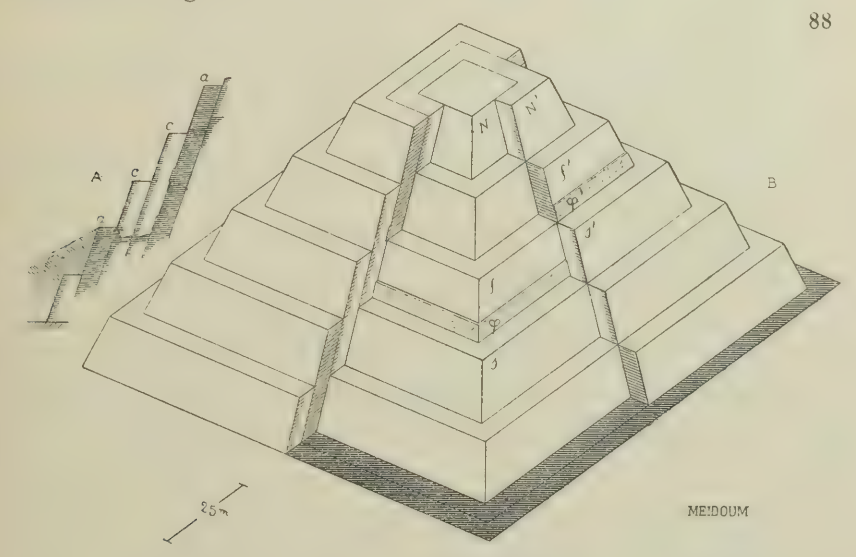
Plus tard, après l'addition d'une nouvelle couche de placage, la pyramide prit l'aspect N';

La face *f* fut empâtée, et son prolongement *f'* fit à son tour partie du parement.

Même mode de ravalement :

On dressa la face *f'* en laissant brute la bande φ', que la saillie *s'* dérobait au regard.

88



Ces bandes brutes φ, φ' se distinguent sur les photographies pl. XXIII :

Elles fixent sans équivoque les niveaux de retraites des tranches disparues.

RÉSUMÉ ET RAPPROCHEMENTS.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU SYSTÈME.

Des pyramides telles que celles de Méïdoum ou de Gizé s'accroissent à proportion du temps et des ressources dont on dispose :

Là réside, aux yeux des Pharaons, le mérite du système.

Un monument qui grossit par couches successives peut s'interterrompre :

Que le roi cesse de vivre au cours de l'exécution d'une tranche, il ne laisse à son successeur d'autre soin que d'achever la tranche et de ravaler le parement.

Au point de vue du travail à dépenser, la solution n'est point avantageuse :

Si l'on eût procédé d'un jet, une installation unique de degrés de montage aurait suffi pour exécuter tout l'ouvrage;

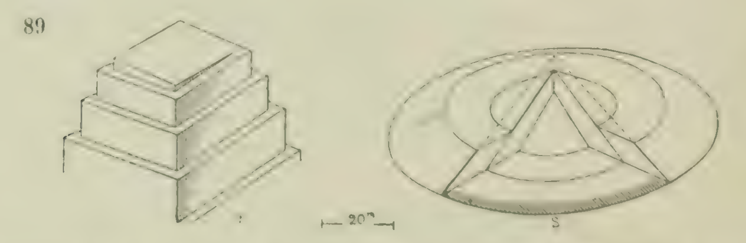
Dans le système par tranches, à chaque nouvelle couche les degrés de montage doivent être refaits :

Le Pharaon achète à ce prix l'assurance de n'être point enseveli sous une tombe inachevée.

LES PYRAMIDES DE L'ÉGYPTE; LES TOURS ET LES TUMULI DE L'ASIE.

L'organisation de chantiers des pyramides se retrouve, au moins quant au principe, dans un grand nombre de constructions asiatiques :

La tour à étages de Khorsabad (fig. 89 K) est un massif de brique crue autour duquel serpente un escalier en spirale.



Comme les pyramides de brique, cette tour se prêtait à l'exécution sans échafauds :

L'escalier, montant en même temps que le corps des maçonneries, suffisait à tous les besoins.

Les buttes de terre de la nécropole de Sardes (S) résultent d'ap-

ports successifs enveloppant un tumulus central. Les cônes emboîtés se distinguent aujourd'hui même de la façon la plus nette :

Évidemment on a élevé un premier cône servant de noyau ; puis une enveloppe conique ; une deuxième ; etc. : Ces cônes se recouvrent l'un l'autre tout comme les tranches dont se composent les pyramides.

HYPOGÉES.

Au sujet des monuments taillés dans le roc, nous nous bornerons à quelques remarques :

Profil. — Le ciel d'une galerie est la seule partie qui puisse céder ; et le risque n'est sérieux que si les strates de la roche sont imparfaitement soudées les unes aux autres :

Dans ce cas, les Égyptiens adoptent un profil courbé en voûte, où les assises naturelles s'appuient les unes sur les autres par encorbellement progressif comme les dalles surplombantes d'Abydos (pag. 67 : Tombes à Béni Hassan ; Sérapéum).

Mode d'attaque par chantiers échelonnés. — Une galerie du tombeau de Ramsès III nous est parvenue inachevée.

Elle présente, étagés à quatre niveaux successifs, quatre fronts d'attaque : ce qui permettait, au grand profit de la rapidité, de faire travailler à la fois autant d'équipes.

Mode d'extraction des déblais. — Les corridors d'accès des souterrains des Pyramides sont d'ordinaire si bas, qu'on s'y tient à peine debout ; à pentes si raides, qu'on y glisse.

L'extraction des déblais se faisait nécessairement au moyen de bennes traînantes que remorquaient, à l'aide de câbles, des hommes postés à l'entrée du couloir.

Les charges pouvant se fractionner, il n'était nullement besoin de recourir à des treuils : des haleurs suffisaient.

Aérage. — Les chantiers d'hypogées, tels que les tombeaux des Rois, les souterrains des Pyramides ou les temples d'Ipsamboul, exigeaient un aérage : Ils impliquent l'existence de tout un système de ventilation, dont nous ignorons les détails.

LES MÉTHODES ET L'ORGANISATION DES FORCES OUVRIÈRES.

Cette revue des chantiers nous a mis en présence de méthodes qui exigent un énorme déploiement d'efforts.

Les difficultés s'aplanissent sous le régime autoritaire des Pharaons.

Qu'il suffise de rappeler l'institution de la corvée : des populations entières recrutées pendant les saisons où chôme la culture ; des corporations dont l'État requiert les services.

A la tête de cette armée ouvrière, nous trouvons une hiérarchie de chefs revêtus de ce pouvoir sans conteste que donne un caractère sacré :

Les fonctions d'architecte sont territoriales et peut-être héréditaires : ce qui permet à chaque architecte de connaître à fond les ressources dont il dispose et les traditions qu'il doit suivre.

Les ouvriers rétribués — sans doute le petit nombre — sont payés à la journée ; et, bien entendu, leur salaire s'est réglé en nature pendant une longue période où la monnaie n'existait point.

Les pierres sont extraites et les briques façonnées par les gens de corvée. Quelques briques portent des estampilles : apparemment des timbres de comptage servant à contrôler la production de chaque escouade.

Aux temps pharaoniques, on ne connaît point le travail par entreprise; aucun intermédiaire ne s'interpose entre l'État et l'ouvrier :

Les constructions d'appareil ont en effet le caractère d'ouvrages exécutés en régie. De la part d'un entrepreneur, tant de négligences (pag. 62) n'auraient point été tolérées : l'État se les permet à lui-même.

Les premiers indices de travaux faits à la tâche datent des Ptolémées : Ce sont des marques d'ouvriers, telles qu'on en distingue à Edfou sur les parements d'ébauche du temple.

MANŒUVRE DES MONOLITHES.

Ce que nous avons étudié jusqu'ici, c'est pour ainsi dire la pratique courante : Il convient d'examiner comment la méthode s'applique à la manœuvre de blocs tels que des obélisques dont le poids dépasse 200 tonnes, ou des colosses plus lourds encore.

COLOSSES.

Partons de la carrière.

Apparemment la pierre en sort à l'état d'ébauche plus ou moins sommaire : Si les pieds des colosses de Memnon avaient été dégagés avant le transport, ils se seraient brisés sur le traîneau.

L'idée de faire cheminer les blocs à l'état d'épannelage concorde d'ailleurs avec ce que les documents assyriens nous apprennent.
Elle s'accorde aussi avec la pratique générale du ravalement sur place (pag. 54).

TRANSPORT SUR TRAINEAU.

Nous avons reproduit (pag. 78) un traîneau où le même câble sert à la fois à l'amarrage du bloc et à l'attelage de quelques bœufs.

Pour le déplacement de grandes masses, l'effort des bêtes de trait serait trop peu régulier : on emploie des hommes ; et les câbles de traction doivent se disposer en conséquence.

En outre, l'amarrage de la pierre doit être mieux assuré.

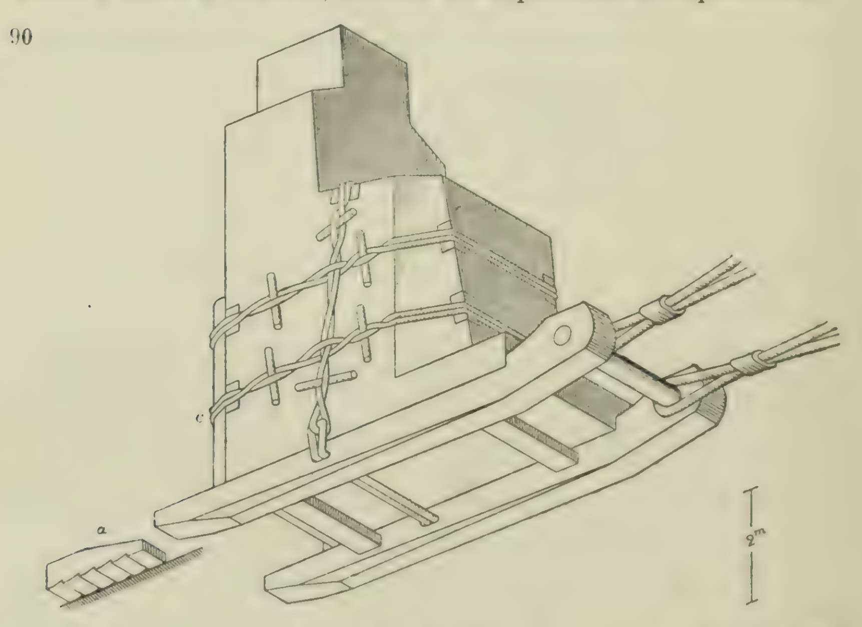
Une peinture d'El Bersé, que nous essayons d'interpréter fig. 90, montre comment ces conditions se réalisent.

TRAINEAU D'EL BERSÉ.

Le bloc est relié au traîneau par des attaches de cordages :

Une ceinture verticale le serre sur les longerons;

Deux ceintures horizontales, sans doute combinées avec des arrêts *c* fichés à l'arrière, rendent les déplacements impossibles.



Les câbles moteurs sont au nombre de quatre; chacun d'eux est actionné par 21 couples de haleurs, qui tirent en cadence au commandement d'un chef; et le traîneau glisse sur un sol arrosé (pag. 78).

A la remonte d'une rampe, si l'effort de traction vient à s'interrompre — et cela aura lieu à chaque relai — le traîneau risque de redescendre :

L'enrayage s'obtient à l'aide d'un frein *a*, en forme de coin dentelé, que l'on cale à l'arrière et qui grippe au sol.

Pendant la marche, ce frein *a* est porté à proximité du traîneau.

CAS D'IMPOSSIBILITÉ DU TRANSPORT PAR HALAGE.

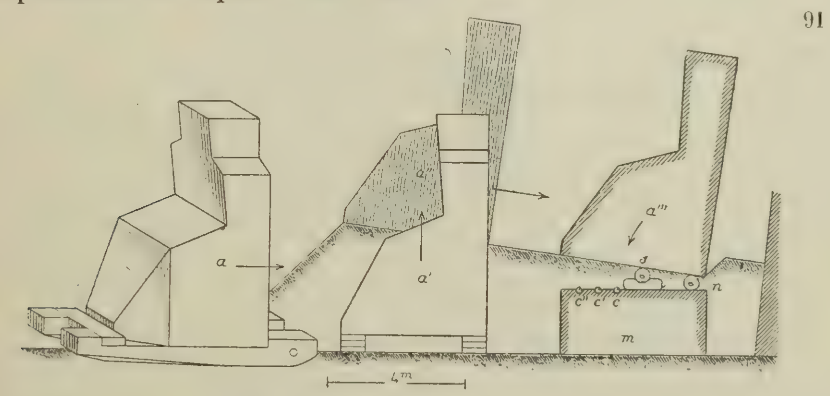
Le procédé suppose que l'on ait devant soi un espace suffisant pour développer les longues files de haleurs :

Si la place manque, ou si la charge est trop lourde pour un traîneau, on a (pag. 76) la ressource du cheminement par échelons, sans traîneau s'il le faut.

MISE EN PLACE. INDICES DE MANŒUVRES SUR SACS DE SABLE.

Nous arrivons au lieu de pose. La statue (fig. 91) est en *a'* ; *m* est le piédestal sur lequel il faut l'élever :

91



On démonte le traîneau s'il existe ;

A l'aide de leviers et de terrassements (pag. 76) on hisse le bloc de *a'* en *a''*; puis on le laisse glisser en *a'''*.

Reste à le faire descendre sur son piédestal.

La descente s'opérera par un artifice que nous appliquons au décintrement de nos ponts et qui était connu des anciens (Plin. XXXVI 21), l'emploi de sacs en toile remplis de sable.

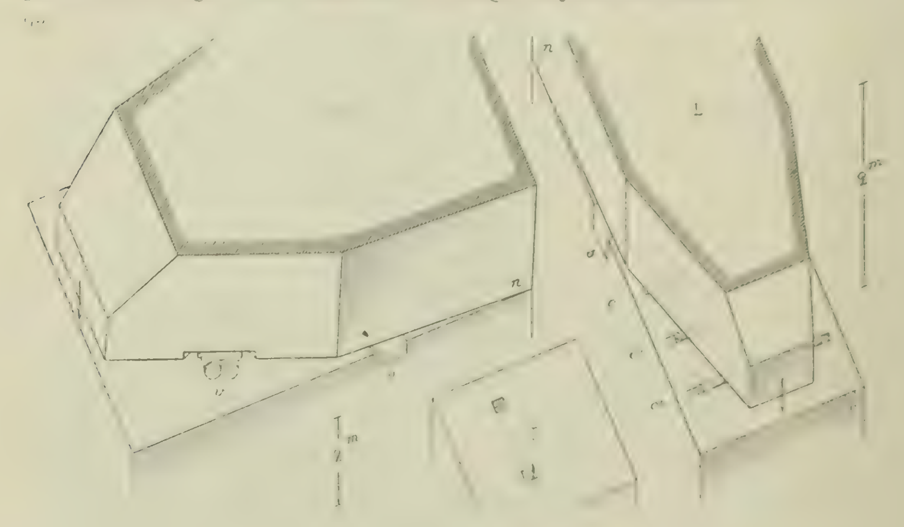
Imaginons en *s* une pile de ces sacs : Elle offre au bloc un appui qui permet d'enlever les terrassements.

Si ensuite on laisse écouler le sable, l'abaissement se fera sans à-coup.

La seule difficulté est de se débarrasser des toiles, les empêcher de rester prises sous la statue.

Colosses de Luxor. — Or, voici ce qui s'observe aux colosses de la grande cour de Luxor (fig. 91 *m*; fig. 92 L; photographie pl. XVII 1) :

Le piédestal est creusé de trois rainures *c*, *c'*, *c''*, dans lesquelles peuvent se loger des sachets, de longs boyaux de sable.



Les gros sacs *s* une fois vides, le bloc va porter en *n* sur le lit d'attente; en *c*, sur le premier sachet.

A ce moment, rien n'empêche de retirer les toiles.

Les toiles enlevées, que l'on crève le sachet *c* : le bloc pivote lentement autour de l'arête *n* et vient s'appuyer sur le deuxième sachet *c'*;

Quant au sachet *c*, il reste dans sa rainure, lui et le sable qu'il a contenu.

En crevant tour à tour *c'* et *c''*, on achève le mouvement, et le bloc repose à vif sur son lit.

Piédestal dans la 2e cour de Karnak. — A Karnak (fig. 92 T; pl. XVII 2), une base de colosse présente, au lieu de rainures, deux poches, creusées excentriquement comme sont excentriquement creusées les rainures *c*, *c'*, *c''* de Luxor.

Rien n'est changé à la manœuvre.

Dans les poches on loge des sachets ronds, comme on avait à Luxor logé des sachets allongés dans les rainures.

Le colosse porte d'abord sur de gros sacs, ensuite sur les sachets :
A ce moment, on retire les toiles des gros sacs;
Et l'on crève les sachets : qui restent, contenu et contenant, dans les poches T.

Colosses du Ramesséum; colosses de Memnon. — La principale statue du Ramesséum et, probablement aussi, les colosses de Memnon, reposaient sur des bases entièrement lisses. Est-ce à dire que l'artifice n'ait point été appliqué?

Nous avons remarqué (pag. 117) combien il est vraisemblable que les blocs aient été mis en place à l'état de simple épannelage.

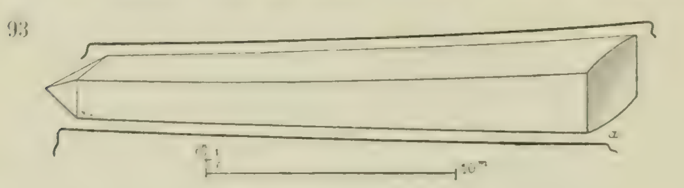
Il était fort naturel de ménager, dans la masse qui devait être abattue, des entailles telles que *v* (fig. 92), où des sachets de sable auraient trouvé place :

Ces sachets auraient servi d'appui pendant l'enlèvement des gros sacs; et la manœuvre se serait faite, comme à Luxor, comme à Karnak, sans rien laisser entre le socle et la statue.

OBÉLISQUES.

Les obélisques n'ont en général que deux faces planes : les deux autres sont légèrement bombées, et les arêtes sont courbes.

La fig. 93 donne l'idée de leur aspect (échelle des ordonnées



quintuple de celle des abscisses).

EXTRACTION.

Admettons qu'en carrière on règle les arêtes en se guidant à l'aide de fils métalliques tendus :

On obtiendra des faces latérales planes ;

Et, comme le fil éprouvera une flexion, les deux autres faces prendront une légère courbure, dont le croquis indique le sens.

Imaginons, dans une même carrière, deux obélisques ainsi taillés à l'aide de fils directeurs : De l'un à l'autre les flexions seront parallèles ; et, comme les manœuvres de transport seront les mêmes, après le dressage les courbes devront rester semblablement placées :

Fait des courbures, similitude de position, toutes les conséquences du mode de tracé se vérifient aux deux obélisques de Luxor.

La flèche des courbes est d'environ $0^{m}.03$.

Que l'on ait fait usage d'un fil de cuivre, la tension n'eût pas dépassé 3^{k} par millimètre carré : effort parfaitement admissible.

Quant aux bombements transversaux *a*, ils peuvent avoir été ménagés en vue d'augmenter — ne fût-ce que de bien peu — l'épaisseur au milieu et par suite la résistance à la rupture.

TRANSPORT.

Les peintures, qui abondent en scènes de la vie commune, contiennent à peine de vagues allusions aux manœuvres des obélisques.

Il y avait nécessairement transport par terre et transport par eau :

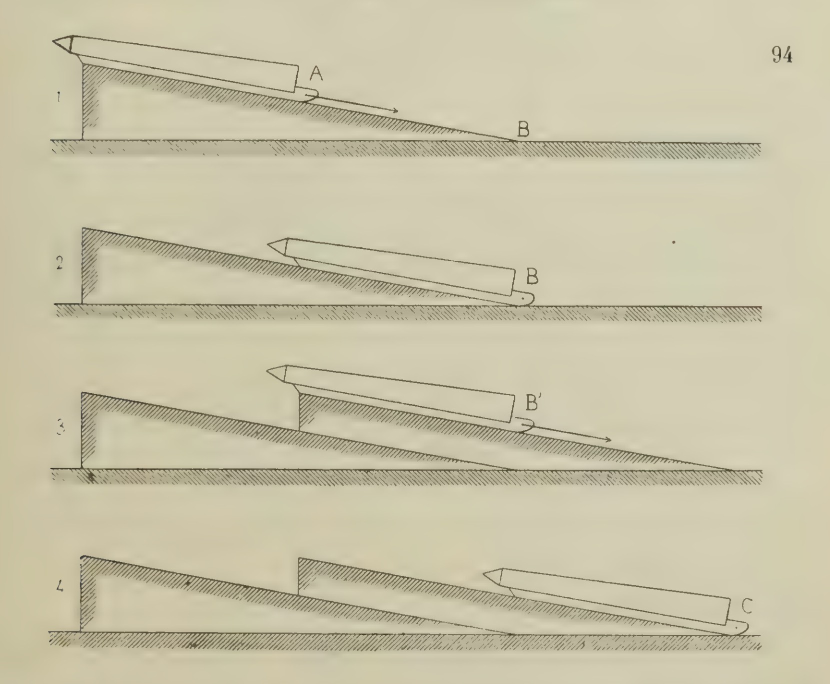
Le creusement d'un canal permettait d'arriver par eau presque à pied d'œuvre.

Transport par eau. — Une peinture de Deïr el Bahri montre des obélisques naviguant sur bateaux.

Pline (XXXVI 14) indique une solution meilleure :
Deux navires entre lesquels le bloc est suspendu.

Sans doute le bloc plonge au-dessous du plan d'eau, et perd par immersion plus d'un tiers de son poids.

Transport par terre. — Pour le cheminement à terre on pouvait



employer le procédé par échelons que nous avons décrit pag. 76, et que rappelle le diagramme fig. 94.

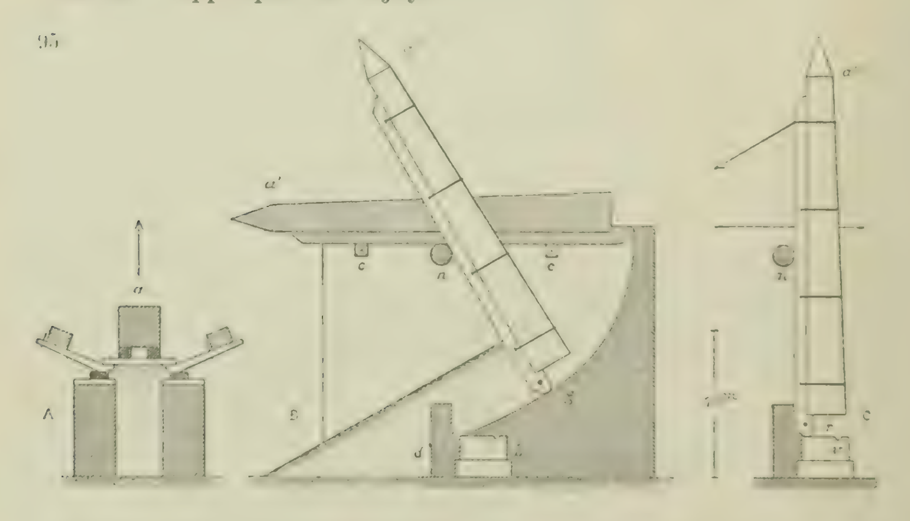
Il est probable que, dans la plupart des cas, la traction par câbles put suffire pour les obélisques aussi bien que pour les colosses.

DRESSAGE.

Marche de l'opération. — Le dressage, non plus que le transport, n'exige aucune machine :

Soulevons le bloc (fig. 95 A), en ayant soin de maintenir les remblais d'appui par des bajoyers.

95



Arrivés (B) à une hauteur telle que *a'* passons, par-dessous, des traverses *c* et un tourillon *n* :

A ce moment rien n'empêche de déblayer les terres et d'établir en sous-œuvre une glissière *g*.

La glissière faite, remplaçons par du sable les terres enlevées;

Retirons les traverses *c*.

Et affouillons le sable :

L'obélisque, pivotant autour du tourillon *n*, va s'incliner suivant *a''* et arriver à l'aplomb de sa base *b*.

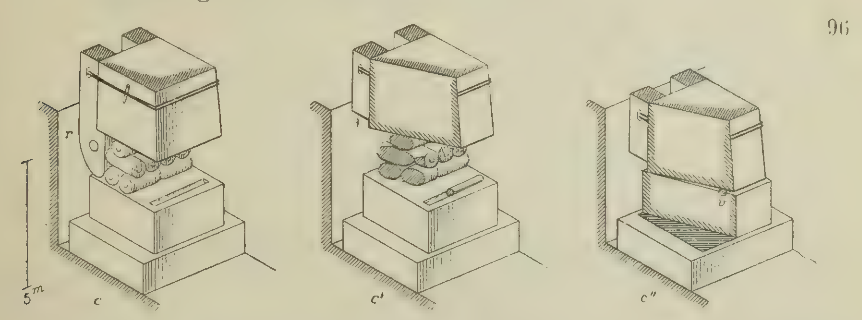
Il suffira, pour l'empêcher d'aller trop loin, de réserver en *d* un

arrêt qui le contrebute du pied, et de retenir le sommet par des haubans.

Le bloc est parvenu à la position C :

Le traîneau l'a suivi et protégé dans son mouvement. La crosse de ce traîneau gêne la descente.

96



Pour la recouper, empilons sur la base des sacs de sable (fig. 96 *c*) :

La masse une fois soutenue sur ces sacs, un trait de scie supprimera l'obstacle (*c'*); et, en vidant ces sacs, on amènera l'obélisque à sa place.

Ici se représente un incident que nous avons rencontré à propos des colosses :

Il faut empêcher la toile des sacs de rester emprisonnée entre le socle et le fût.

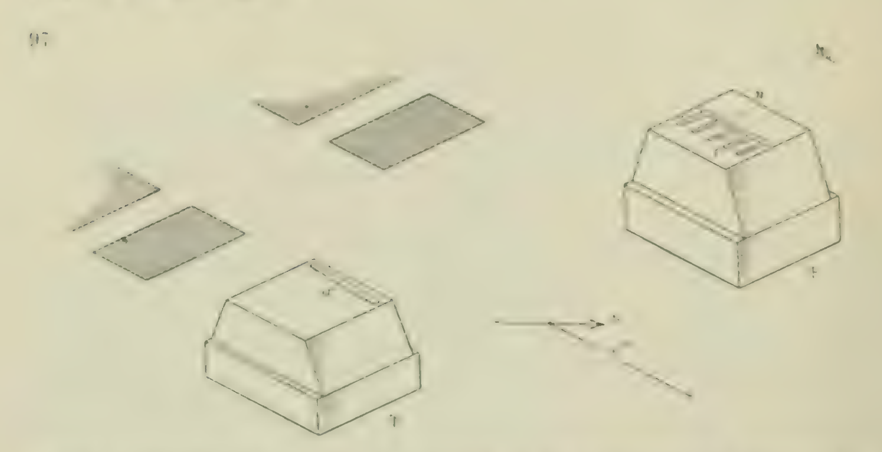
La solution est la même :

Des sachets logés en rainure reçoivent provisoirement la charge; et ces sachets *v*, ouverts à leur tour, laissent dans la rainure et leur contenu et leur enveloppe.

Précisons par des exemples :

Indices et détails de la manœuvre sur sacs de sable. — A Karnak, sous l'obélisque renversé d'Hatasou, la forme de la rainure est celle qu'indique la fig. 96.

A Luxor, d'après les relevés de Lebas, les rainures présentent l'aspect indiqué fig. 97 :


97

Sous l'obélisque oriental, la rainure a' est exactement semblable à celle de Karnak.

Sous l'obélisque occidental P (celui de la place de la Concorde), la disposition est plus complexe.

Cet obélisque, le moins éloigné du Nil, dut être dressé le dernier, et l'on mit à profit l'expérience acquise :

Probablement on avait remarqué que les sachets a' se vident avec une rapidité dangereuse.

Pour parer à ce danger on a rapproché du centre la rainure a, et branché sur elle cinq rainures secondaires c.

De longs sachets de sable, logés dans toutes ces cavités, étaient crevés à la fois;

Et l'obélisque, pivotant autour de l'arête n, provoquait non point l'évacuation générale, mais une évacuation de proche en proche, commençant en a et se propageant de a en c :

Le mouvement s'opérait avec plus de lenteur, et les risques étaient moindres.

Solutions diverses du problème des obélisques. — Ainsi s'érigèrent les obélisques à ces lointaines époques où l'on ne possédait ni treuils ni palans.

A l'époque romaine, la manœuvre s'opère par une méthode tout autre :

Le musée du Latran possède la représentation du dressage non d'un obélisque, mais d'un fût de colonne monolithe.

Le levage est fait par une grue ; le moteur est une roue actionnée, comme celles de nos carrières, par des hommes gravissant des échelons plantés à la circonférence.

Telle fut la manœuvre de l'obélisque de Constance II (Ammien XVI, 4).

C'est également une manœuvre avec roues motrices et renvois de mouvement, qu'indique le bas-relief de l'obélisque de Constantinople.

Dans les temps modernes, la méthode romaine persiste, au moins quant au principe :

L'obélisque de la place Saint-Pierre fut dressé à l'aide d'un beffroi de charpente servant d'attache à des palans :

Le sommet était soulevé; le pied cheminait sur une plate-forme à rouleaux.

Pour l'obélisque de la place de la Concorde, on fit usage d'une bigue oscillante, presque verticale au début, et dont le mouvement de bascule entraînait la tête du monolithe.

SARCOPHAGES.

Les procédés employés pour mettre en place les sarcophages sont de simples variantes des manœuvres sur sable, qui viennent d'être décrites.

Mariette rencontra dans ses fouilles une cuve de sarcophage laissée dans une position d'attente à l'orifice du puits qui la devait contenir.

Sur quatre points, le puits présentait des élargissements en forme de rainures verticales.

Rainures et puits, tout était rempli de sable.

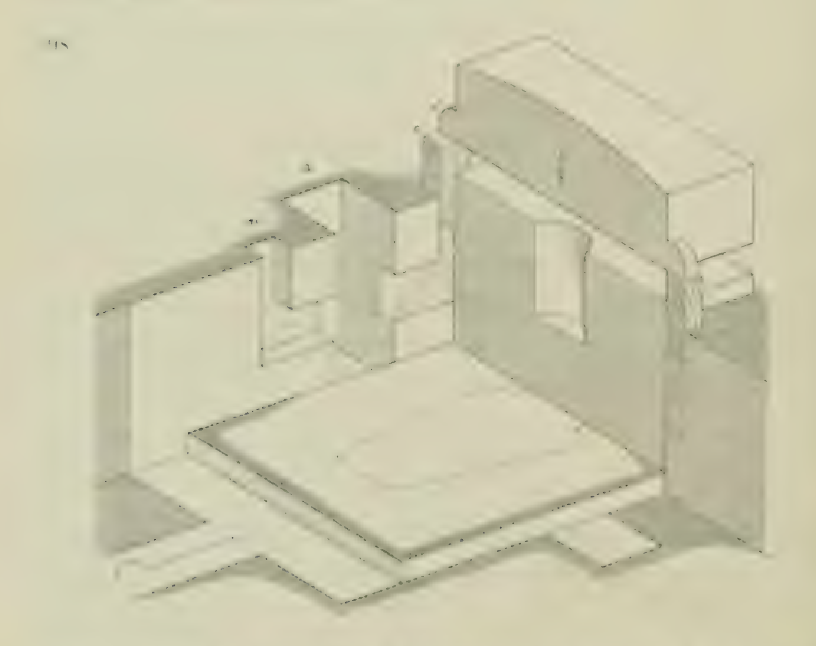
Un homme posté dans chaque rainure vida le sable à mesure qu'il affluait : Et ainsi s'accomplit un mouvement préparé depuis trente siècles.

Les fouilles de Sakara ont mis au jour une tombe qui ne fut jamais occupée :

La cuve était en place;

Au-dessus d'elle, à 1m de hauteur environ, le couvercle reposait sur des pillettes provisoires.

Tout était prêt pour la descente :



En maçonnant les parois de la chambre, on avait eu soin de ménager une sorte de canalisation de sable (fig. 98), composée de rainures verticales *a*, *a* et d'un branchement horizontal *m*.

Des tampons *c*, calés sous les oreilles *s* du couvercle, prenaient leur point d'appui sur le sable des rigoles *n*.

M. Barsanti, à qui est due l'explication de ces dispositifs, interprète ainsi la manœuvre projetée :

Que l'on sape les pillettes provisoires, les tampons *c* reporteront sur le sable tout le poids du couvercle.

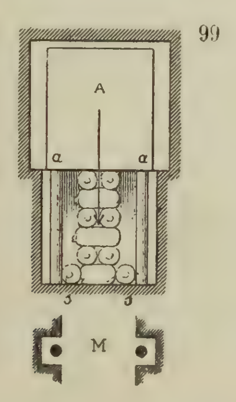
Que l'on vide la rainure *a*, le sable des rigoles *n* s'écoulera, les tampons s'abaisseront, et le couvercle avec eux.

HERSES DES PYRAMIDES.

La fig. 99 indique la forme usuelle des enclaves où s'engagent les dalles de granit qui barrent par intervalles les couloirs des pyramides.

Manœuvre par descente verticale. — Tant que la pyramide reste inoccupée, la herse est posée sur deux potelets *a*;

Pour la faire descendre, on supprime ces supports :



Mais la pierre peut se briser en tombant, ou bien coincer entre les deux rainures et s'arrêter en route.

Le moyen de prévenir ce double risque est d'empiler sous la herse.

avant de saper les potelets, un amas de sacs de sable assurant une descente lente et régulière..

Descente sur glissière. — A Dachour, on se contenta de modérer la vitesse de chute en faisant descendre le bloc le long d'un plan incliné.

La chambre de la herse, reconnue par Perring, présente l'aspect fig. 100 :

g est la glissière, sur laquelle on fera couler le bloc en détruisant les contrefiches *c*.

100



Cette opération de sape serait périlleuse sans la garantie de câbles de retenue :

Il existe, en effet, une rainure *r* où des cordages purent être fixés à l'aide de simples coins.

Qu'on imagine les cordes ainsi pincées dans la rainure *r* :

La suppression des contrefiches se fait alors sans danger; et, pour rompre à son tour la ceinture de retenue, il suffit de la brûler.

LES ARCHITRAVES DES TEMPLES.

Les procédés de manœuvre appliqués aux monolithes permettent

de compléter les indications que nous avons données sur la pose des matériaux des temples et, en particulier, des architraves.

Les architraves de la principale nef de Karnak sont faites de poutres jumelles, dont chacune pèse plus de 40 tonnes.

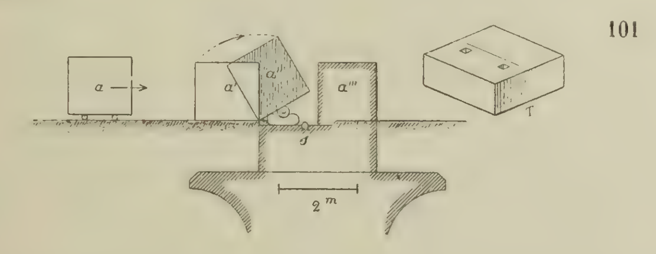
Nous avons vu (pag. 96) qu'au moment de leur pose, tous les vides de la salle étaient comblés en terre-plein.

Leur poids ne permettait pour le montage d'autre procédé que celui des leviers (pag. 79).

Arrivées à hauteur, elles cheminèrent sur rouleaux jusqu'au lieu d'emploi : Il s'agit de les mettre en place.

Pour la première *a'''*, rien ne fait obstacle.

L'autre *a''* doit être serrée à joint non seulement en bout, mais latéralement :



Or (fig. 101 T; pl. XVIII 2) on remarque, à l'endroit où l'une des extrémités doit poser, deux poches *s*.

Elles dénotent :

1° L'usage de sacs à sable ;

2° L'extraction des toiles par l'artifice des sachets (pag. 121).

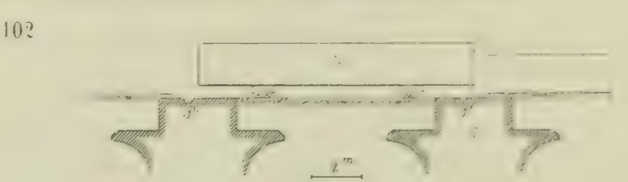
Partant de ces indications, voici comment on peut concevoir la manœuvre.

Le bloc arrivé en *a'*, on lui donne quartier sur un empilage de gros sacs :

En vidant avec méthode les sacs inférieurs de l'empilage, on le rapproche peu à peu des pierres qu'il doit joindre.

Le seul danger est de lui laisser prendre (fig. 102 A) une inclinaison qui le ferait coincer en *c* et enlèverait l'arête.

102



Les sachets préviennent cet accident :

Placés vers l'extrémité *s'*, ils forcent le bloc à pivoter autour de l'autre extrémité *s''*; Tout coincement en *c* est rendu impossible.

On achève l'ajustage par de petits mouvements au levier, que la présence des sachets *s'* rend inoffensifs; on crève les sachets, et le bloc prend définitivement sa place.

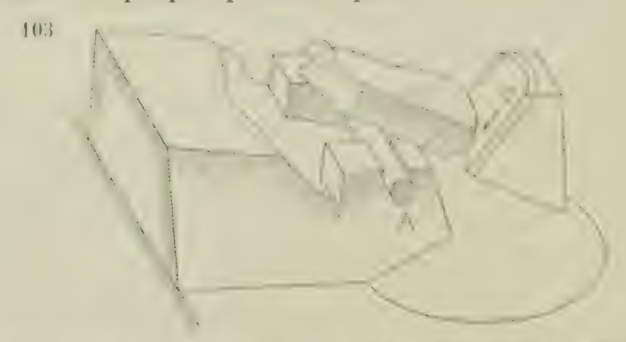
LES MANŒUVRES DE FORCE HORS DE L'ÉGYPTE.

Au terme de cette étude, il ne sera pas hors de propos de mettre en regard des procédés de l'Égypte ceux que suggérèrent ailleurs les mêmes besoins, ou peut-être les mêmes influences.

PEUPLES PRÉHISTORIQUES.

Des méthodes qui n'exigent ni machines ni cordages ont chance d'être celles des peuples préhistoriques.

103



Par leur date, les mégalithes, les obélisques de la Bretagne et du pays de Galles sont de beaucoup plus récents que ceux de l'Égypte.

ils appartiennent à un âge plus primitif : On n'entrevoit pour leur transport qu'un mode possible, la marche par levage et glissement (pag. 76); pour leur dressage, des terrassements tels que les indique la fig. 103 :

Ce sont les procédés mêmes des Égyptiens.

Les différences tiennent à l'état arriéré de l'outillage, qui forçait de laisser les blocs à l'état brut : L'obélisque égyptien n'est autre chose que le menhir taillé; le temple, un dolmen amplifié.

Les peuples dépourvus des moyens de fractionner les pierres ont du moins des leviers pour les mouvoir : le mégalithisme est l'art obligé des civilisations naissantes.

PHÉNICIE.

Les Phéniciens de Balbek ont employé dans les enceintes de leurs sanctuaires les pierres les plus énormes que l'homme ait jamais remuées.

Le mode de transport paraît être ici encore le glissement par échelons.

Aucun traîneau n'eût résisté à des charges de mille tonnes : les blocs de Balbek frottaient directement sur la chaussée.

C'est ce dont témoignent d'ailleurs les épaufrures survenues dans le transport.

Ainsi que l'indique la figure ci-contre, les épaufrures *c* se présentent toutes sur la face de parement, et toujours vers l'arête supérieure.

C'est donc la face aujourd'hui debout qui traînait sur le sol; l'arête terminale marchait à l'avant. Et, à l'arrivée, la pierre a reçu quartier.

D'ailleurs, dans les faces de lit existent des trous de $0^m,25$ environ de largeur, tantôt ronds, tantôt carrés, qui semblent creusés à l'endroit de moies ou flaches naturelles :

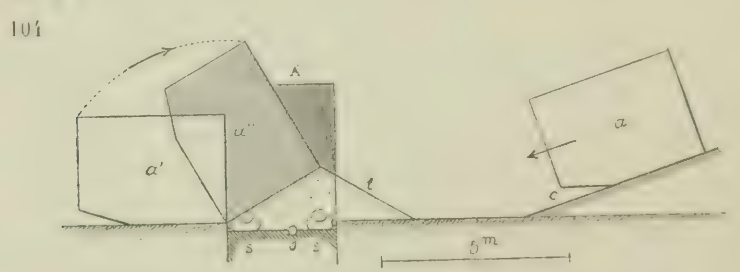
Ces poches paraissent équivalentes à celles du piédestal de Karnak (pag. 122) et, comme elles, destinées à contenir de petits sacs de sable.

D'après ces indications on peut reconstituer la manœuvre comme il suit.

A étant le profil de la muraille au cours d'exécution :

D'échelon en échelon (pag. 76) on fait glisser la pierre jusqu'en a' :

104



On dispose en S des piles de gros sacs et, dans les poches *s*, des sacs de moindre volume : le tout enveloppé par un massif de sable.

On donne quartier au bloc qui s'abat sur le monceau de sable.

On affouille ce sable : Le bloc arrive à poser sur les gros sacs.

En vidant méthodiquement ces gros sacs, on l'amène peu à peu à joint.

Bientôt il ne porte plus que sur les petits sacs logés dans les poches du plan de lit. Il ne reste plus alors qu'à crever ces petits sacs *s*.

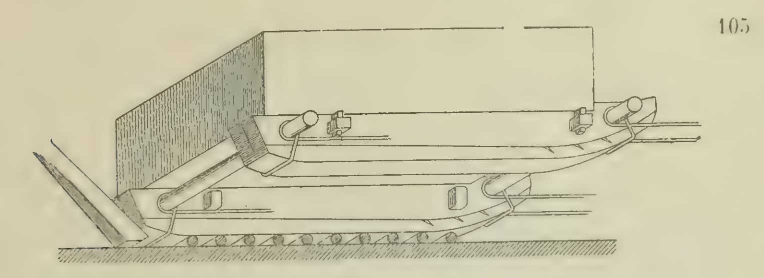
De point en point la méthode égyptienne explique les particularités de Balbek.

ASSYRIE.

Un bas-relief du VIIe siècle nous fait assister aux opérations de transport d'un de ces taureaux ailés qui servaient de jambages aux portes des palais.

Le colosse est à l'état d'ébauche et porté sur les longerons d'un

traîneau (fig. 105) qui ne diffère par rien d'essentiel de celui d'El Bersé (pag. 118).


105

Comme à El Bersé la traction s'exerce à bras d'hommes.

Les seuls faits à noter sont les suivants :

Combinaison de câbles qui n'exige aucun nœud;

Emploi de leviers pour aider au démarrage;

Doublure des longerons par des madriers de bois dur;

Interposition de rouleaux entre le traîneau et le sol, moins glissant en Assyrie que dans la vallée du Nil.

GRÈCE ARCHAÏQUE.

Vitruve et Pline nous ont transmis, au sujet du temple d'Éphèse, des détails qui permettent de saisir le passage des méthodes égyptiennes aux méthodes grecques (Vitr. X 6; Plin. XXXVI 21).

Transport. — Les pierres, pour arriver au chantier, devaient traverser des marécages :

L'architecte, « n'osant compter sur des fardiers dont les roues s'enfonceraient », répartit la charge sur le sol en faisant cheminer les fûts de colonnes par simple roulement;

Et, pour appliquer le même mode de transport aux blocs rectangulaires des architraves, il les transforma en cylindres au moyen d'un habillage de charpente.

Vitruve — ou plutôt l'architecte grec dont il est l'interprète, —

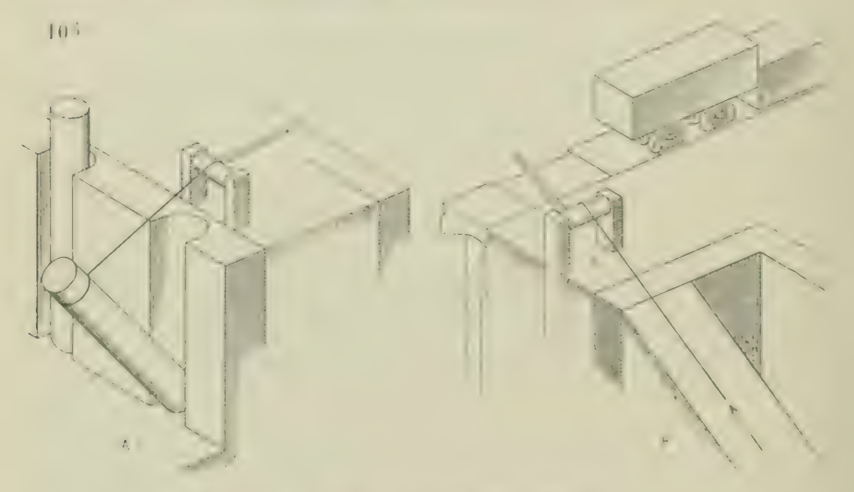
présente cette solution comme exceptionnelle, et constate incidemment l'usage général du fardier à roues.

D'ailleurs le texte ne contient aucune allusion à l'idée de consolider le sol vaseux : Les Grecs semblent avoir longtemps hésité à construire des chaussées.

Montage. — Un plan incliné (mollis clivus) servit au montage.

Et pour mettre en place les architraves « on établit, en contre-haut de ce plan incliné, sur les chapiteaux des colonnes, un empilage de sacs pleins de sable ;

Puis, vidant peu à peu les sacs du dessous, on amena progressivement les blocs à prendre leur assiette » (Plin.).



Le temple d'Éphèse fut élevé vers l'an 550.

A cette époque l'Egypte était ouverte aux Grecs : elle put leur fournir l'idée de la manœuvre sur sable.

Mais il semble étrange de rencontrer, en plein VIe siècle, le plan incliné, à tous égards si inférieur au système des terrassements par échelons (pag. 89).

En substituant un glacis à l'escalier de montage, apparemment

les Grecs eurent en vue de rendre possible la traction par machines : Un cabestan eût été installé au sommet de la rampe.

Le treuil intervient : Là paraît être l'innovation ; et l'on peut concevoir le chantier d'Éphèse tel à peu près que le représente la fig. 106.

Nous sommes encore à la période des manœuvres par traînage.

Bientôt les Grecs vont inaugurer des méthodes qui n'exigent aucun terrassement : ils procéderont en soulevant les blocs dans l'espace ; la chèvre, les palans deviendront les engins usuels.

Dès la fin du siècle cette transformation est accomplie ; le levage par suspension est écrit sur les pierres de la Grèce et de la Sicile, la mécanique nouvelle règne sans réserve :

Éphèse est une construction encore à demi-égyptienne ; à Sélinonte rien ne subsiste des procédés de l'Égypte.

Le système grec, cette élégante adaptation de machines empruntées à l'art naval, convient à des cités maritimes, à des petits États où le nombre des travailleurs est limité, et qui doivent s'ingénier pour suppléer aux bras.

L'Égypte, dont les forces sont centralisées, peut aller plus droit au but : Même sous la dynastie macédonienne des Ptolémées, nous la voyons attachée à ses méthodes traditionnelles. Elle les garde sous les Césars, et n'y renonce qu'au moment où elle cesse d'élever des temples.

TABLE.

CONSTRUCTIONS DE BOIS.

CONSTRUCTIONS DE BRIQUE.

MATÉRIAUX ET MODE D'EMPLOI.

LES MURS DE BRIQUE.

I. — MURS A LITS HORIZONTAUX.

II. — MURS À LITS ONDULÉS.

LES FAITS.

RECONSTITUTION DES CHANTIERS.

ESSAI D'EXPLICATION DES LITS ONDULÉS.

1° Effets de glissement.

BERCEAUX EXÉCUTÉS SUR APPUIS TEMPORAIRES.

II. — COUPOLES.

CONSTRUCTIONS DE PIERRE.

MATÉRIAUX ET MODE D'EMPLOI.

STRUCTURE DES ÉDIFICES.

MURS ET PYLONES.

SALLES ET GALERIES.

REMARQUES SUR LES CONSTRUCTIONS D'APPAREIL.

PROCÉDÉS DE TRANSPORT ET DE MONTAGE.

I. — TRANSPORT DES PIERRES A PIED D'ŒUVRE.

II. — MOYENS DE MONTAGE.

LE LEVIER.

L'ASCENSEUR OSCILLANT.

LES GRADINS DE MONTAGE.

CHANTIERS DES TEMPLES ET DES TOMBEAUX.

TEMPLES.

PYRAMIDES.

GIZÉ.

DACHOUR.

OUNAS.

PYRAMIDES DE BRIQUE.

SAKARA.

MEÏDOUM.

REMARQUES ET RAPPROCHEMENTS.

HYPOGÉES.

LES PROCÉDÉS ET L'ORGANISATION DES FORCES OUVRIÈRES.

MANŒUVRE DES MONOLITHES.

COLOSSES.

OBÉLISQUES.

SARCOPHAGES.

HERSES DES PYRAMIDES.

LES ARCHITRAVES DES TEMPLES.

LES PROCÉDÉS DE MANŒUVRE DES ÉGYPTIENS
COMPARÉS A CEUX DES AUTRES PEUPLES DE L'ANTIQUITÉ.

PEUPLES PRÉHISTORIQUES.

PHÉNICIE.

ASSYRIE.

GRÈCE ARCHAÏQUE.

LES MÉTHODES ÉGYPTIENNES SOUS LES DYNASTIES GRECQUES.



DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

Nos des planches.	Nos des figures.	Sujets des figures.	Pages correspondantes du texte.
		DÉTAILS DES CONSTRUCTIONS APPAREILLÉES.	
		LUXOR.	
XIX	1	Paroi composée de deux demi-murs juxtaposés sans liaison. Appareil à décrochements. Ravalement inachevé.	[illegible]
		EDFOU.	
»	2	Attaches de bois en forme de queue d'aronde. Attaches d'échafaudages volants............	55, 58
		LUXOR.	
XX	1	Appareil d'une colonnade. Assemblage à onglet des architraves en retour d'angle.......	54, 65
		MÉDINET ABOU.	
»	2	Constitution et garantie d'étanchéité des terrasses..............	[illegible]
		LUXOR.	
XXI	1	Pylône : Exemple des irrégularités de l'appareil à l'époque des Ramsès............	54
		CONSTRUCTIONS DE LIBAGES. CONSTRUCTIONS MIXTES DE PIERRE ET TERRASSEMENT.	
		KARNAK.	
»	2	Un pylône en terrassement parementé. État de ruine causé par la disparition du noyau de terrassement..........	64
		SAKARA.	
XXII	1, 2	Pyramide à degrés exécutée par tranches, et enveloppant des tombes plus anciennes, dont une se distingue dans les arrachements....	104, 108

34134 Paris. — Imp. GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

L'ART DE BATIR CHEZ LES ROMAINS, Paris 1872. Un volume in-folio. Texte accompagné de 100 figures gravées en relief, et de 59 figures gravées sur cuivre à échelle autant que possible uniforme. . . **60** francs

La construction voûtée en menus matériaux.
La construction d'appareil. — Les charpentes.
L'art de bâtir, les ressources de l'Empire romain et le régime des classes ouvrières.

L'ART DE BATIR CHEZ LES BYZANTINS, Paris 1882. Un volume in-folio. Texte accompagné de 178 figures gravées en relief, et de 55 figures gravées sur cuivre à échelle autant que possible uniforme . . **60** francs

La construction en petits matériaux.
Exécution des voûtes sans cintrage.
Combinaisons d'équilibre.
L'art de bâtir, les ressources de l'Empire grec et le régime des classes ouvrières.

ÉTUDES ÉPIGRAPHIQUES SUR L'ARCHITECTURE GRECQUE, Paris 1883-1884. Quatre parties en un volume in-4°. . . . . **30** francs

L'arsenal du Pirée, d'après le devis original des travaux. Reconstitution accompagnée de 3 projections de l'édifice. Echelles : 1/100e, 1/200e et 1/1000e. — **Les murs d'Athènes,** d'après le devis de leur restauration. Etude accompagnée de 3 figures. Echelles : 1/50e et 1/100e. — **L'Erechtheion,** d'après les pièces originales de la comptabilité des travaux. Reconstitution accompagnée de 4 figures. Echelles : 0m005 pour 1m et 0m01 pour 1 pied grec. — **Un devis de travaux publics à Livadie.** Interprétation accompagnée d'une planche explicative.

HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE, Paris 1903. 2 volumes in-8° de 742 et 800 pages. Texte accompagné de 1700 documents graphiques, gravés sur cuivre et reproduits en relief . . . . **40** francs

Méthodes de construction. — Formes et lois de proportion.
MONUMENTS.
Epoques. — Influences. — Styles.

Le prospectus de cet ouvrage, comprenant les divisions, les subdivisions, ainsi que la désignation et six spécimens des figures, forme une brochure de 48 pages.

Ce prospectus est, sur demande, envoyé gratis et franco par l'éditeur.

L'ART DE BATIR CHEZ LES ÉGYPTIENS, Paris 1904. Un volume in-4°. Texte accompagné de 106 figures gravées en relief et de 24 planches comprenant 48 figures en héliogravure . . . . **20** francs

Constructions de bois. — Constructions de brique.
Constructions de pierre. — Procédés de transport et de montage.
Chantiers des temples et des tombeaux. — Manœuvre des monolithes.

ÉDOUARD ROUVEYRE, Éditeur, 76, rue de Seine, à Paris.